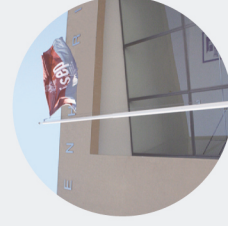




# **BIM na Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos**

**AILTON JORGE VAZ PEREIRA**

novembro de 2018



# BIM na Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos

**AILTON JORGE VAZ PEREIRA**  
Outubro de 2018



# **BIM NA REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS ANTIGOS**

AILTON JORGE VAZ PEREIRA

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE ESTRUTURAS**

Orientador: Eng.º Ricardo Pereira Santos

Supervisor: Eng.º Alexandre A. Costa (NCREP)

**OUTUBRO DE 2018**



# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
CAPÍTULO 1    Introdução.....	1
CAPÍTULO 2    Estado da Arte.....	7
CAPÍTULO 3    Inspeção e Diagnóstico de Edifícios Antigos .....	25
CAPÍTULO 4    Casos de Estudo .....	41
CAPÍTULO 5    Automação de Dimensionamento de Pavimentos de Madeira .....	69
CAPÍTULO 6    Considerações Finais.....	81
Referências Bibliográficas.....	83
Anexos .....	87



## RESUMO

O BIM é uma metodologia que vem ganhando grande destaque e importância na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), tanto no projeto como na construção de edifícios, estabelecendo uma comunicação mais fácil, completa e concisa entre os vários especialistas envolvidos, além de integrar toda informação do empreendimento em várias dimensões. Entretanto, a necessidade atual de acesso à documentação em 3D dos edifícios históricos contribui para o despertar do interesse no desenvolvimento da temática BIM aplicado a projetos de reabilitação.

No decorrer do estágio foi possível participar na realização de alguns trabalhos de inspeção e diagnóstico a obras adjudicadas ao NCREP. Estão descritas no presente relatório duas das inspeções acompanhadas, em que uma se refere a um edifício de habitação com estrutura principal em alvenaria de pedra e madeira e a outra a um edifício de utilização mista com estrutura, no piso inspecionado, constituída por paredes de tabique e cobertura de madeira.

De forma a explorar as funcionalidades da metodologia BIM na reabilitação apresentam-se dois casos de estudo onde foram aplicados esta metodologia a dois projetos de reabilitação estrutural. Ambos os modelos BIM foram construídos a partir do levantamento do existente realizado da forma tradicional. Estes modelos foram explorados, culminando na obtenção de documentação útil tanto na fase de projeto como de apoio à construção, nomeadamente mapas de quantidades e peças desenhadas que representam tanto as operações de demolição como construção nova. Estão descritos também o processo de exportação para um *software* de cálculo.

Por último são descritas as rotinas do Dynamo desenvolvidas com o objetivo de automatizar o dimensionamento e a verificação de segurança de pavimentos de madeira através de uma folha de Excel fornecida pelo NCREP.

**Palavras-chave:** BIM, Reabilitação Estrutural, Revit, Dynamo.



## **ABSTRACT**

BIM is a methodology that has gained great prominence and importance in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry, both in the design and in the worksite, establishing an easier, complete and concise communication between the various specialists involved , besides integrating all the information of the enterprise in several dimensions. Meanwhile, the current need for access to 3D documentation of historic buildings contributes to the interest in the development of the BIM methodology applied to rehabilitation projects.

During the internship it was possible to participate in some inspection and diagnostic works awarded to NCREP. Two inspections are described in this report, one of which refers to a residential building with a main structure in stone and wood masonry and the other to a mixed-use building with a structure of the inspected floor, consisting of partition walls and wood cover.

In order to explore the functionalities of the BIM methodology in rehabilitation, two case studies are presented, where this methodology was applied to two structural rehabilitation projects. Both BIM models were built from the survey of the existing construction carried out in the traditional way. These models were explored, allowing the production of documentation , useful both in the design phase and in support of construction, namely quantity maps and drawings representing both demolition operations and new construction. The process of exporting to a calculation software is also described.

Finally, the Dynamo routines developed with the aim of automating the sizing and safety verification of wooden floors through an Excel sheet provided by the NCREP are described.

**Keywords:** BIM, Structural Rehabilitation, Revit, Dynamo.





## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar o meu agradecimento ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e Departamento de Engenharia Civil, pela oferta de uma bolsa de estágio curricular.

Um agradecimento a toda a equipa da empresa NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda., principalmente ao Eng.º Alexandre A. Costa, pela oportunidade dada de realizar o estágio no NCREP, pela sua disponibilidade no acompanhamento do estágio e na transmissão de conhecimentos.

Ao Eng.º Ricardo Pereira Santos, pela orientação e disponibilidade na transmissão de conhecimentos.

Um especial agradecimento à minha família, em especial aos irmãos e meus pais, Jorge e Odete Pereira, pelo amor e apoio incondicional ao longo de todos estes anos e por todos os valores que me transmitiram.

Aos meus amigos e a todos os meus colegas de curso, pela amizade, entreajuda sempre vivida ao longo deste percurso académico.

Por último, um agradecimento à Takira especialmente pelo amor, amizade e paciência, me encorajando durante todos estes anos e sobretudo nos últimos meses.



## ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais .....	1
1.2	Objectivos do Estágio.....	2
1.3	Descrição da Empresa.....	2
1.4	Organização do relatório .....	4
CAPÍTULO 2	Estado da Arte.....	7
2.1	BIM – <i>Building Information Modeling</i> .....	7
2.1.1	O conceito BIM .....	7
2.1.2	Dimensões BIM .....	9
2.1.3	<i>Level of Development</i> (LOD) .....	10
2.1.4	Interoperabilidade .....	11
2.1.5	Vantagens e desvantagens .....	13
2.1.6	<i>Softwares</i> BIM .....	14
2.1.7	Modelação por objetos e as relações paramétricas .....	16
2.2	A Reabilitação .....	16
2.2.1	Bases para o projeto de reabilitação .....	17
2.2.2	Graus de intervenção .....	18
2.3	BIM na Reabilitação .....	19
2.3.1	Levantamento de dados ( <i>Data capture</i> ) .....	20
2.3.2	Processamento de dados ( <i>Data processing</i> ) .....	22
2.3.3	Reconhecimento do objeto ( <i>Object recognition</i> ) .....	22
2.3.4	Modelação .....	23

CAPÍTULO 3	Inspeção e Diagnóstico de Edifícios Antigos .....	25
3.1	Introdução.....	25
3.2	Inspeção 1 – Edifício de habitação unifamiliar .....	25
3.2.1	Caracterização construtiva e estrutural .....	25
3.2.2	Ensaio e sondagens realizadas no local .....	27
3.2.3	Anomalias e danos estruturais .....	28
3.2.4	Estado de conservação .....	31
3.3	Inspeção 2 – Edifício de utilização mista.....	31
3.3.1	Caracterização construtiva e estrutural .....	32
3.3.2	Ensaio e sondagens realizadas no local .....	33
3.3.3	Anomalias e danos estruturais .....	34
3.3.4	Estado de conservação .....	38
3.3.5	Sugestões de medidas de intervenção .....	38
CAPÍTULO 4	Casos de Estudo .....	41
4.1	Introdução.....	41
4.2	Aplicação a um Projeto de Habitação e Comércio.....	41
4.2.1	Descrição do edifício alvo de estudo .....	41
4.2.2	Levantamento do existente .....	42
4.2.3	Geração da malha estrutural - “Grids” e definição dos Níveis .....	44
4.2.4	Modelação dos elementos estruturais .....	45
4.2.5	O existente, elementos a demolir e elementos a construir .....	50
4.2.6	Danos e anomalias associadas aos elementos .....	56
4.2.7	Produção automática de plantas, cortes e alçados .....	57
4.2.8	Criação e configuração de <i>sheets</i> .....	60
4.2.9	Exportação para <i>software</i> de cálculo automático .....	61
4.3	Aplicação a um Projeto de Habitação Unifamiliar .....	64
4.3.1	Modelação do terreno .....	66

4.3.2	Modelação das escadas .....	66
CAPÍTULO 5	Automatização de Dimensionamento de Pavimentos de Madeira .....	69
5.1	Rotinas Dynamo .....	70
5.1.1	Revit para Excel .....	71
5.1.2	Excel para Revit com Verificação (por piso) .....	74
5.1.3	Verificação de segurança de pavimentos de madeira .....	77
5.1.4	Organização do ficheiro de Excel .....	78
CAPÍTULO 6	Considerações Finais .....	81
6.1	Conclusões .....	81
6.2	Desenvolvimentos Futuros .....	82
	Referências Bibliográficas.....	83
	Anexos .....	87





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Logotipo do NCREP.....	2
Figura 1.2 - Casa da Cultura de Pinhel, Guarda .....	3
Figura 1.3 - Edifício Santa Helena, Porto .....	3
Figura 1.4 - Castelo dos Mouros, Sintra .....	4
Figura 2.1 - BIM e o ciclo de vida de um edifício [7]. .....	8
Figura 2.2 - Partilha de informação entre os intervenientes do processo [8]. .....	8
Figura 2.3 - Níveis de detalhe na plataforma Revit. ....	10
Figura 2.4 - LOD como delimitador de fases do projeto [12]. ....	10
Figura 2.5 - Níveis de desenvolvimento [12]. ....	11
Figura 2.6 - Esquema de interligações entre <i>softwares</i> /empresas através das IFC. ....	13
Figura 2.7 - Criação do modelo BIM [2]. ....	20
Figura 2.8 - Técnicas utilizadas para levantamento do existente [2]. ....	20
Figura 2.9 - Localização do comando <i>Sweep</i> no Revit. ....	23
Figura 2.10 - Exemplo de modelação de uma estrutura complexa no Dynamo. ....	24
Figura 3.1 - Sistema construtivo e estrutural do edifício. ....	26
Figura 3.2 - Alguns dos instrumentos utilizados na inspeção aos elementos de madeira. ....	27
Figura 3.3 - Carotes de betão extraídos. ....	28
Figura 3.4 - Lista de anomalias/danos estruturais. ....	29
Figura 3.5 - Anomalias identificadas nas paredes de alvenaria. ....	29
Figura 3.6 - Pilares metálicos de apoio á estrutura dos pavimentos das marquises. ....	30
Figura 3.7 - Localização do edifício. ....	31
Figura 3.8 - Paredes em tabique do edifício. ....	32

Figura 3.9 - Cobertura do edifício em estrutura de madeira. ....	33
Figura 3.10 - Janelas de sondagem em paredes de tabique. ....	33
Figura 3.11 - Danos nos elementos estruturais da cobertura. ....	35
Figura 3.12 - Danos em paredes de tabique. ....	36
Figura 3.13 - Danos em tetos do piso 2. ....	37
Figura 3.14 - Ataque de térmitas em elementos de revestimentos. ....	38
Figura 4.1 - Plantas estruturais disponibilizada pelo NCREP. ....	42
Figura 4.2 - Formatos de ficheiros de origem compatíveis com o <i>software</i> Revit. ....	43
Figura 4.3 - Caixa de diálogo do comando “ <i>Import CAD</i> ”. ....	43
Figura 4.4 - Representação da malha estrutural sobrepondo a planta importada. ....	44
Figura 4.5 - Criação dos níveis na plataforma Revit. ....	45
Figura 4.6 - Caixa de diálogo de edição dos tipos de família. ....	46
Figura 4.7 - Excerto do modelo BIM, ilustrando as fundações. ....	46
Figura 4.8 - Excerto do modelo BIM, ilustrando as paredes estruturais. ....	47
Figura 4.9 - Exemplo de edição de uma parede estrutural no Revit. ....	48
Figura 4.10 - Pilares utilizados no modelo BIM. ....	48
Figura 4.11 - Localização da ferramenta <i>Phases</i> no Revit. ....	50
Figura 4.12 - Caixa de diálogo da ferramenta <i>Phases</i> (Separador <i>Project Phases</i> ). ....	51
Figura 4.13 - <i>Project Browser</i> utilizado no Revit. ....	51
Figura 4.14 - Definição da fase e do filtro de fase de uma vista. ....	52
Figura 4.15 - Caixa de diálogo da ferramenta <i>Phases</i> (Separador <i>Phase Filters</i> ). ....	53
Figura 4.16 - Configuração das cores de acordo com a convenção adotada. ....	54
Figura 4.17 - Vista do 2º piso ilustrando os elementos existentes, a demolir e a construir. ....	54
Figura 4.18 - Elementos existentes e elementos a demolir. ....	55
Figura 4.19 - Elementos existentes e elementos a contruir. ....	55
Figura 4.20 - Sobreposição dos elementos existentes, elementos a contruir e a demolir (“Vermelhos e amarelos”). ....	55

Figura 4.21 - Criação de novos parâmetros de projeto no Revit. ....	57
Figura 4.22 - Caixa de diálogo da propriedade <i>View Range</i> .....	58
Figura 4.23 - Esquema de configuração da <i>View Range</i> [9].....	59
Figura 4.24 - Vista de piso de um novo projeto do <i>Template</i> NCREP AP. ....	59
Figura 4.25 - Exemplo de aplicação do comando “ <i>Section</i> ” .....	60
Figura 4.26 - <i>Template</i> do cabeçalho utilizado (modelado no Revit).....	60
Figura 4.27 - Parâmetros do projeto que preenchem os campos do cabeçalho. ....	61
Figura 4.28 - Representação de um projeto estrutural no <i>software</i> Revit. ....	62
Figura 4.29 - Caixa de diálogo da interligação Revit-Robot.....	63
Figura 4.30 - Representações do modelo nos dois <i>softwares</i> .....	63
Figura 4.31 - Representações do modelo nos dois <i>softwares</i> .....	64
Figura 4.32 - Modelo Revit do edifício unifamiliar. ....	65
Figura 4.33 - Plantas estruturais do Edifício unifamiliar no Revit. ....	65
Figura 4.34 - Localização do comando “ <i>Toposurface</i> ”. ....	66
Figura 4.35 - Modelação da topografia no Revit. ....	66
Figura 4.36 - Modo de edição do comando “ <i>Stair</i> ” .....	67
Figura 4.37 - Exemplos de escadas do modelo. ....	67
Figura 5.1 - Ambiente de trabalho do Dynamo.....	69
Figura 5.2 - Exemplo de um nó do Dynamo e os seus <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .....	70
Figura 5.3 - Nó “All Elements of Category” e o seu <i>input</i> . ....	71
Figura 5.4 - Agrupamento dos sistemas por piso com o nó “Element.GetParameterValueByName”. ....	71
Figura 5.5 - Levantamento de parâmetros com o nó “Element.GetParameterValueByName”. ....	72
Figura 5.6 - Filtração dos parâmetros por piso. ....	72
Figura 5.7 - Processo de criação da lista e sua transferência para o Excel. ....	73
Figura 5.8 - Folha do Excel preenchida com dados importados do Revit. ....	74
Figura 5.9 - Rotina em Dynamo para ler os parâmetros do Excel.....	74
Figura 5.10 - Lista com os valores lidos no Excel.....	75

Figura 5.11 - Rotina para escrever os dados no modelo Revit. ....	76
Figura 5.12 - Processo de verificação de alteração dos parâmetros após o dimensionamento. ....	76
Figura 5.13 - Nó "Select Model Element" do Dynamo. ....	77
Figura 5.14 - Listas dos parâmetros a ser transferidos e os seus respetivos valores. ....	77
Figura 5.15 - Folhas contidas no ficheiro de Excel. ....	78
Figura 5.16 - Folha "Pavimentos, ELU_ELS" do Excel. ....	79
Figura 5.17 - Fórmula "Se" encadeadas para a verificação de segurança de pavimentos de madeira. ....	79

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Dimensões BIM e os respectivos propósitos.....	9
Tabela 4.1 - Família e características de fundações utilizadas no modelo estrutural.....	47
Tabela 4.2 – Família e características de pilares utilizadas no modelo estrutural.....	49
Tabela 4.3 – Família de vigas utilizadas no modelo estrutural. ....	49
Tabela 4.4 – Identificação e ilustração das principais anomalias e ensaios realizados .....	56



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Estágio (DIPRE), enquadrado no ramo de Estruturas do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O estágio tem como tema “**BIM na Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos**” e foi realizado na empresa NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, dispondo da orientação do professor Eng.º Ricardo Pereira Santos e da supervisão do Eng.º Alexandre A. Costa, sócio e representante da empresa referida anteriormente.

A metodologia Building Information Modeling (BIM), veio alterar a forma de trabalhar entre projetistas, revolucionando o modo como toda a estrutura organizacional de trabalho é aplicada. Esta metodologia permite uma melhor coordenação e colaboração entre os intervenientes no projeto, bem como uma rápida deteção de conflitos e consequentemente uma otimização de tempo e custos [1].

Assim como em Portugal, nos restantes países desenvolvidos tem-se observado que a construção nova tem estagnado, dando agora maior protagonismo à reabilitação. Pelo que se verifica uma maior aposta no planeamento e implementação de medidas de reparação e recapacitação de edifícios existentes [2].

Assim, dado o aumento crescente em obras de reabilitação, quer por entidades públicas, quer privadas, é necessário adaptar este setor às exigências tecnológicas atuais [3]. A reabilitação de edifícios antigos é um projeto especial, que coloca desafios importantes devido à complexidade das geometrias existentes bem como à heterogeneidade dos materiais da construção.

Neste enquadramento, o presente trabalho apresenta uma abordagem de implementação da metodologia BIM em projetos de reabilitação de edifícios antigos.



## 1.2 OBJECTIVOS DO ESTÁGIO

Os objetivos do estágio, que deram origem ao presente relatório, consistem no estudo de técnicas necessárias para a implementação da metodologia BIM em projetos estruturais de edifícios antigos. Neste sentido procurou-se adquirir conhecimentos que permitem inovar e potencializar os projetos estruturais elaborados pela forma tradicional.

Para atingir estes objetivos recorreu-se a casos práticos que contemplam a modelação de projetos de reabilitação a partir de um levantamento existente, a exploração das funcionalidades do *software* Revit utilizado na modelação e o desenvolvimento de algoritmos em Dynamo capazes de automatizar o dimensionamento de pavimentos de madeira.

## 1.3 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O estágio curricular foi realizado na empresa NCREP, com sede localizada no centro do Porto, Praça Coronel Pacheco, nº 2; Ed. Electro, Gab.6.

**NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.**, é uma empresa que presta serviços de consultoria, inspeção e diagnóstico, monitorização e projeto no âmbito da reabilitação das construções. A empresa nasceu do conhecimento e experiência acumulada pelos seus fundadores no domínio da reabilitação e reforço de estruturas existentes ao longo de mais de 10 anos de atividade na área.



Figura 1.1 - Logotipo do NCREP.

Esta experiência culminou na produção de centenas de trabalhos científicos e relatórios técnicos, assim como na participação em diversos projetos e protocolos de colaboração técnica com instituições públicas e privadas. Seguidamente são apresentadas alguns destes projetos:

- **Casa da Cultura de Pinhel, Guarda**

O NCREP desenvolveu trabalhos de inspeção e diagnóstico com o objetivo de avaliar o estado de conservação da alvenaria de granito, e dos elementos de madeira do edifício, analisando danos e identificando as causas associadas.



Figura 1.2 - Casa da Cultura de Pinhel, Guarda

- **Edifício Santa Helena, Porto**

O NCREP foi responsável por desenvolver o trabalho de inspeção e diagnóstico estrutural e o projeto de estabilidade deste edifício localizado na rua de Santa Helena no Porto. O objetivo do projeto foi reabilitar o edifício de forma a torná-lo habitável, preservando e valorizando as suas qualidades arquitetónicas originais.



Figura 1.3 - Edifício Santa Helena, Porto

- **Castelo dos Mouros, Sintra**

O Castelo dos Mouros, situado em Sintra, foi construído entre os séculos VIII e IX e remonta ao período de domínio islâmico e às conquistas de D. Afonso Henriques. Situado no topo da Serra, dele se disfruta de uma excelente vista sobre Sintra, funcionando atualmente como um importante foco de atração turística.

O NCREP foi responsável por desenvolver o trabalho de inspeção, diagnóstico estrutural e o projeto de estabilidade da estrutura de madeira, que procurou seguir os pressupostos definidos pelo requerente, envolvendo a utilização de materiais e técnicas tradicionais.



Figura 1.4 - Castelo dos Mouros, Sintra

No âmbito da sua ação, o NCREP, tem por alvo as tipologias construtivas tradicionais em betão, aço, alvenaria e madeira. Na abordagem à reabilitação, a empresa segue uma metodologia integrada, centrando-se no conhecimento detalhado das construções, resultado de ações de inspeção e diagnóstico, e na análise do seu desempenho através de ferramentas de avaliação de segurança.

### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente documento encontra-se dividido em 6 partes. No presente capítulo é efetuado o enquadramento geral do estágio, fazendo abordagem aos objetivos, motivações e descrição da empresa onde foi realizado o estágio.

O segundo capítulo apresenta o enquadramento do atual estado de conhecimento da metodologia BIM, através de uma revisão bibliográfica que abrange os principais conceitos associados ao BIM, a reabilitação e o BIM aplicado a projetos de reabilitação de edifícios antigos.

No terceiro capítulo apresentam-se alguns trabalhos de inspeção que o estagiário teve a oportunidade de acompanhar e participar.

O quarto capítulo é dedicado aos casos de estudo, onde se efetua a descrição de todo o processo de implementação da metodologia BIM nos projetos de reabilitação estrutural dos dois edifícios. São

abordados os principais aspetos estudados que vão desde o levantamento do existente passando para a modelação dos elementos estruturais e acabando na criação dos documentos de apoio à construção ou exportação do modelo para o *software* de cálculo.

O quinto capítulo tem como objetivo a descrição das rotinas do Dynamo criadas para automatizar o dimensionamento dos pavimentos de madeira modelados a partir do *software* Revit.

Por último, o sexto capítulo apresenta as considerações finais e propostas de desenvolvimentos futuros.



## CAPÍTULO 2

### ESTADO DA ARTE

#### 2.1 BIM – *BUILDING INFORMATION MODELING*

##### 2.1.1 O conceito BIM

O termo BIM significa *Building Information Modeling* ou *Building Information Model*, quando se trata de uma metodologia ou de um modelo respectivamente e pode ser traduzido por Modelação ou Modelo de Informação do Edifício.

O BIM é atualmente reconhecido como um importante desenvolvimento na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC), estando conotado com uma mudança de paradigma no processo de execução dos projetos das diferentes especialidades [4]. Portanto, nos dias de hoje o conhecimento e domínio desta metodologia torna-se indispensável a qualquer engenheiro ou profissional da indústria AEC.

Com a metodologia BIM, um modelo virtual de um edifício é construído digitalmente. Quando concluído, o modelo gerado por computador contém geometria precisa e dados relevantes necessários para apoiar a construção, fabrico, e atividades de aquisição de materiais e equipamentos necessários para realizar o edifício [5].

O BIM pode, muito genericamente, definir-se como uma metodologia de modelação e um conjunto de processos associados para produzir, comunicar, integrar e analisar modelos de uma construção [6]. A metodologia possibilita a partilha da informação entre todos os intervenientes do projeto durante as fases do ciclo de vida de um edifício, nomeadamente o projeto, a construção, a manutenção, demolição, etc. (ver Figura 2.1).

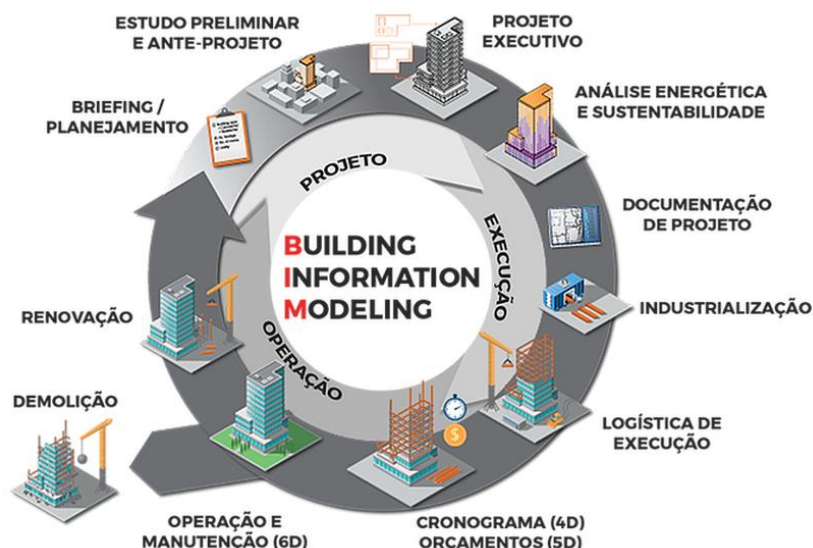


Figura 2.1 - BIM e o ciclo de vida de um edifício [7].

A capacidade de colaboração e partilha entre os diversos intervenientes no processo, nomeadamente entre a arquitetura, as especialidades, os construtores e os donos de obra, torna essencial a agilização da troca de dados entre sistemas diferentes e a correta transmissão de informação (ver Figura 2.2) [4].

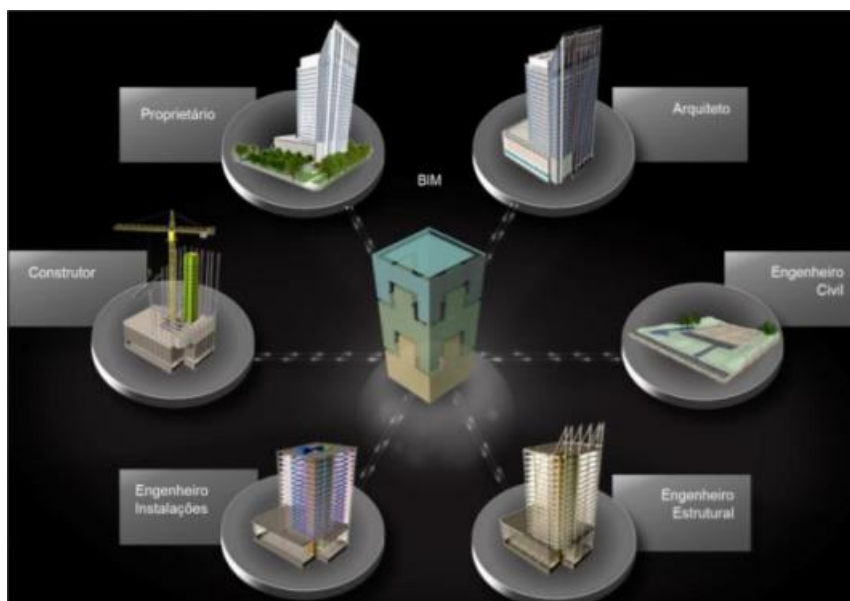


Figura 2.2 - Partilha de informação entre os intervenientes do processo [8].

Segundo a Autodesk, BIM (Building Information Modeling) é uma metodologia baseado em modelos 3D inteligentes que fornece aos profissionais de arquitetura, engenharia e construção (AEC) a visão e as ferramentas para planear, projetar, construir e gerir com maior eficiência edifícios e infraestruturas [9].



### 2.1.2 Dimensões BIM

A capacidade dos objetos de vincular ou receber conjuntos de atributos é a principal vantagem da metodologia BIM, com o intuito de apoiar a prática integrada na construção [10]. Atualmente, os modelos digitais virtuais contêm uma série de informações relativas a outros dados como por exemplo catálogos de fabricantes e ainda introduzem de forma integrada e evolutiva no projeto, novas dimensões como por exemplo o tempo e planeamento de obra (4D), o custo (5D), entre outros [4].

Em BIM, entende-se por dimensões de um modelo a forma como o modelo está programado e, consequentemente, aos tipos de informação que serão dele retiradas [6]. Segue-se uma breve descrição das principais dimensões BIM e os respetivos propósitos:

Tabela 2.1 - Dimensões BIM e os respetivos propósitos

	Normalmente associado à modelação geométrica dos elementos construtivos, sua compatibilização espacial e suas análises. É possível extrair informações sobre as especificações de materiais e acabamentos, quantitativo de materiais, soluções para revestimento, entre outros.
	Adicionando a dimensão tempo ao modelo, os elementos gráficos da edificação podem ser vinculados a um cronograma de obra, o que torna possível ao gestor acompanhar o avanço físico da construção e também verificar conflitos que possam acontecer no decorrer do tempo.
	Associado ao BIM 3D e 4D pode ser adicionado a "camada" custo. Cada elemento do projeto passa a ter vinculação a dados de orçamento, o que permite aos participantes visualizar a progressão das atividades de construção e seus custos relacionados com o tempo.
	Permite realizar análises de consumo energético via DProfiler, EcoTech, entre outros. A utilização da metodologia BIM 6D pode resultar tanto em estimativas de energia mais completas e precisas na fase de projeto, como na medição e verificação durante a construção.
	Engloba a gestão do ciclo de vida de um edifício. Pode-se controlar a garantia dos equipamentos, planos de manutenção, dados de fabricantes e fornecedores, custos de operação, entre outros.

### 2.1.3 Level of Development (LOD)

*Level of Development* (LOD), que se traduz por nível de desenvolvimento, é uma referência que permite aos profissionais da Indústria de AEC especificar e vincular com um alto grau de clareza, o conteúdo e a fiabilidade dos modelos BIM em vários estágios do projeto e processo de construção [11].

LOD reflete o grau em que a geometria do elemento e as informações anexadas foram pensadas. Está associada à quantidade de informação de um elemento presente num modelo em relação à sua geometria, localização e dados técnicos e de fabricantes.

Muitas vezes o LOD é erradamente interpretado como nível de detalhe (DOD) em vez de nível de desenvolvimento. Nível de detalhe indica essencialmente a quantidade de detalhes incluída graficamente no elemento do modelo [11]. A plataforma Revit possui 3 níveis de detalhe como indica a Figura 2.3 sendo possível alterar a qualquer momento do projeto e em qualquer vista.



Figura 2.3 - Níveis de detalhe na plataforma Revit.

É importante salientar que os LOD não são definidos por fases de projeto. Em vez disso, a conclusão da fase de projeto, bem como qualquer outro marco ou entrega, pode ser definido através da linguagem LOD [11], ver Figura 2.4.

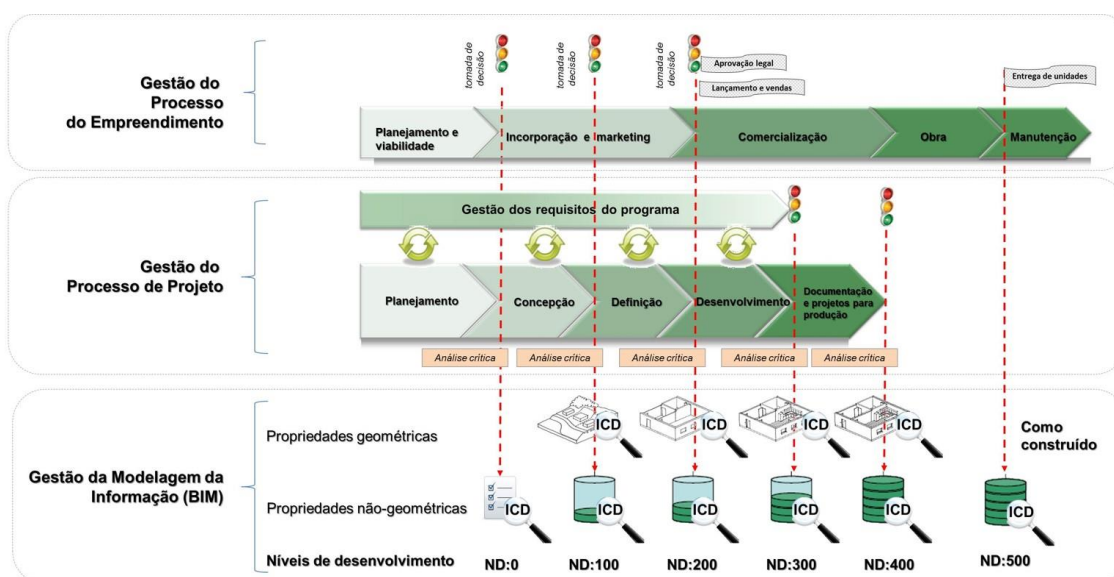


Figura 2.4 - LOD como delimitador de fases do projeto [12].

Em suma, são definidos 6 níveis de desenvolvimento evidenciados a seguir e ilustrados na Figura 2.5 [11]:

**LOD 100** - O elemento do modelo pode ser representado graficamente no modelo através de símbolos ou representações genéricas, mas não satisfaz os requisitos para o LOD 200.

**LOD 200** - O elemento do modelo é representado graficamente dentro do modelo como um sistema, objeto, ou montagem genérico com quantidades, dimensões, forma, localização e orientação aproximadas. Outras informações não gráficas também podem estar anexadas ao elemento de modelo.

**LOD 300** - O elemento do modelo é representado graficamente dentro do modelo como um sistema, objeto ou montagem específica com quantidades, dimensões, forma, localização e orientação específicas.

**LOD 350** - O elemento do modelo é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou montagem específica em termos de quantidade, tamanho, forma, orientação e interfaces com outros sistemas de construção.

**LOD 400** – Idem ao LOD 300, porém acrescenta-se no modelo informações de detalhe, fabrico, montagem e instalação do elemento.

**LOD 500** - Os elementos do modelo representam o modelo conforme construído, em termos de tamanho, forma, localização, quantidade, orientação e informações de detalhe, fabrico, montagem e instalação.

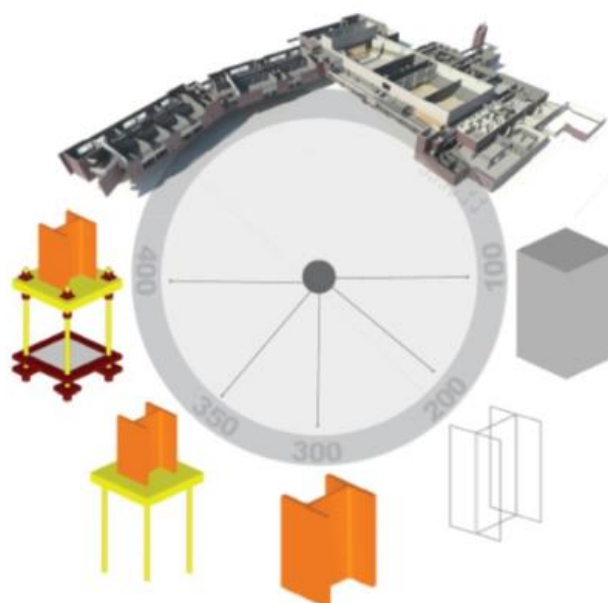


Figura 2.5 - Níveis de desenvolvimento [12].

#### 2.1.4 Interoperabilidade

Interoperabilidade define-se pela capacidade de comunicação entre dois ou mais sistemas, estabelecendo troca de informações de forma transparente.

A metodologia BIM segue o conceito de engenharia colaborativa, na qual todos os intervenientes na elaboração dos projetos e execução do edifício, partilham informações das diversas especialidades. No contexto BIM, designa-se por interoperabilidade a capacidade de estabelecer trocas de informação, de forma compreensível, nos diversos formatos de dados.

Empresas como a Autodesk, a Graphisoft e a Bentley Systems desenvolveram *softwares* BIM em formatos de arquivo distintos, desafiando assim a interoperabilidade entre as ferramentas preferidas da profissão [13]. Segundo Eastman nenhum *software* é capaz de suportar todas as tarefas associadas ao projeto e construção de edifícios [5], por isso a interoperabilidade constitui uma barreira para o BIM se expandir como um processo operacional entre os profissionais da indústria AEC.

A troca de dados entre duas aplicações é tipicamente realizada numa das três principais formas listadas abaixo [14]:

- **Links diretos** - ligação direta entre ferramentas específicas em BIM através de protocolos de comunicação proprietários conhecidos como API (*Application Programming Interface*). Estas ligações são implementadas como interfaces de nível de programação, existentes muitas vezes dentro da família de produtos próprios de uma empresa, e por vezes, através de um acordo comercial entre duas ou mais empresas. Essas interfaces permitem capacidades que não são facilmente suportados pelas atuais trocas públicas [14]. As empresas de *software* geralmente preferem fornecer *links* diretos ou trocas proprietárias para um *software* específico podendo assim, apoiá-los da melhor forma. A interface pode ser fortemente acoplada com, por exemplo, uma ferramenta de análise estrutural diretamente incorporado no *software* de design [14].
- **Um formato de troca proprietário** - é um arquivo ou interface desenvolvido por uma organização comercial para fazer interface com o *software* dessa mesma empresa. Um formato de troca proprietário bem conhecido na indústria AEC é o DXF (*Data Exchange Format*) definido pela Autodesk. Alguns autores concluem que, pelo fato de esses *softwares* terem propósitos específicos próprios, eles atendem plenamente às suas funcionalidades.
- **Os formatos de troca de dados de modelos de produtos públicos** - envolvem o uso de esquema e linguagem geridos publicamente, como XML ou arquivos de texto. No contexto BIM a *Industry Foundation Classes* (IFC) e as *CIMsteel Integration Version 2* (CIS/2), para estruturas de aço, são os principais exemplos de interfaces de domínio público [14].

### 2.1.4.1 IFC - Industry Foundation Classes

As *Industry Foundation Classes* (IFC) constituem uma linguagem padrão internacional desenvolvida com o objetivo de criar um formato de ficheiro informático capaz de garantir a total interoperabilidade entre os *softwares* das diversas empresas da indústria AEC (ver Figura 2.6) [6].

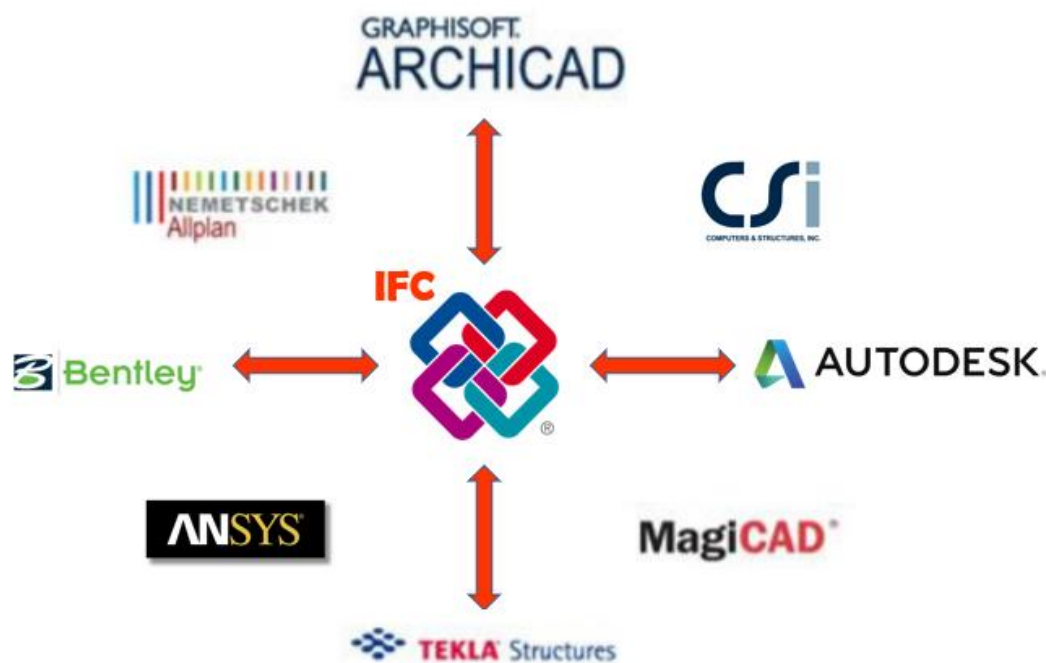


Figura 2.6 - Esquema de interligações entre *softwares*/empresas através das IFC.

Os primeiros esforços no desenvolvimento e promoção das IFC surgiram em 1995, entre as doze principais empresas ligadas à AEC, por meio da *Industry Alliance for Interoperability* (IAI). O desenvolvimento atual do modelo IFC está sob a responsabilidade do *Model Support Group*, coordenado pela *buildingSMART* e encontra-se hoje na versão IFC4 [15].

Atualmente, as IFC são consideradas o principal padrão internacional para a troca de dados e integração dentro da indústria AEC. Contudo, com base nos dados de certificação disponíveis, a atual troca de dados IFC ainda está limitada à geometria simples dos edifícios, perdendo significativamente a fiabilidade perante geometrias complexas, e até mesmo elementos básicos como espaços vazios, vigas e pilares [16].

### 2.1.5 Vantagens e desvantagens

BIM como uma metodologia inovadora apresenta várias vantagens, de entre as quais se pode destacar:

- Melhor interpretação do projeto - com os modelos em 3D é possível observar melhor e com maior definição qual será o resultado final do edifício;

- Facilidade de compatibilização dos projetos das diversas especialidades – verificando se existe falha de elementos ou de informação assim como detetar potenciais problemas de exequibilidade;
- Redução de erros no projeto – pelo facto da visualização ser facilitada e a integração dos projetos ocorrer em uma única plataforma, fica mais fácil identificar possíveis erros;
- Produção e atualização automática das plantas, cortes e alçados - qualquer alteração feita em alguma parte do projeto aparecem em todos os outros elementos de projeto em tempo real.
- Medição e quantificação dos materiais – a medição é feita de forma automática, sendo atualizadas sempre que forem feitas alterações ao projeto;
- Rapidez na elaboração dos projetos – com a produção automática das peças desenhadas reduz-se significativamente o tempo de produção de um projeto e evita-se o trabalho repetido;
- Possibilidade de incorporar mais dimensões a um projeto – simulação da construção, estimativas de custos, etc.

Contudo, sendo uma metodologia relativamente nova no mercado e em fase de crescimento, a sua implementação possui algumas desvantagens. Para além das condicionantes de natureza técnica, o que vem sendo ultrapassado na medida que os *softwares* evoluem, os principais desafios à implementação do BIM estão centrados nas pessoas e organizações. De seguida são enumeradas algumas desvantagens desta metodologia:

- Um dos desafios é o facto da metodologia ser algo relativamente novo, alguns engenheiros e arquitetos tem medo de experimentar este avanço por causa das dificuldades que podem encontrar no caminho, sendo que poderia ser um projeto mais preciso, rápido e barato [17];
- A necessidade de um investimento inicial com a obtenção de um novo *software* bem como com o tempo e dinheiro despendido com a aprendizagem;
- A interoperabilidade ainda representa um obstáculo à implementação da metodologia BIM, não sendo facilitada a troca de dados, isenta de falhas, entre todos ou maioria dos sistemas;

### 2.1.6 *Softwares* BIM

A colaboração e integração BIM tornam-se eficientes se entendermos os *softwares* BIM e como utilizá-los. A escolha dos *softwares* que serão utilizados é muito importante na fase de implantação. É preciso que a empresa defina a sua plataforma de trabalho [18].

O conceito da metodologia BIM é fortemente associada à ideia de consolidação de todas as informações de um edifício ao longo do seu ciclo de vida num único arquivo. Contudo, os dados dos empreendimentos

não são acrescentados aos modelos por meio de um único *software*. Ferramentas específicas são utilizadas para inserir os detalhes relacionados a cada etapa do projeto.

Contudo, foram desenvolvidos *softwares* com capacidade de modelação e edição das informações do edifício, bem como a de agregar informações provenientes de outras ferramentas nelas integradas. Na lista abaixo, destacam-se as principais plataformas com as capacidades referidas acima:

- Revit, da Autodesk;
- Tekla Structures, da Tekla;
- ArchiCAD, da Graphisoft;
- Vectorworks, da Nemetschek;
- AECOsim, da Bentley Systems.

Apresentam-se e descrevem-se, seguidamente, os principais *softwares* usados no decorrer do estágio curricular:

- **Revit**

O Revit é um *software* criado dentro do conceito de Modelação de Informações de Construção (BIM), que inclui funcionalidades para projetos de arquitetura, MEP (*Mechanical, electrical and plumbing* - que se traduz por mecânica, eletricidade e canalização) e engenharia de estruturas e construção. Atualmente desenvolvido pela Autodesk, permite aos utilizadores criar modelos utilizando modelação paramétrica de elementos. O Revit suporta um processo de projetos de colaboração entre os diversos intervenientes na conceção de um edifício.

De acordo com o fabricante, o Revit fornece importação e exportação totalmente certificada da IFC com base nos padrões de troca de dados buildingSMART IFC, possibilitando assim a interoperabilidade com qualquer outro *software* com capacidade de leitura de formatos IFC.

- **SAP2000**

O SAP2000 é um programa de elementos finitos, com interface gráfica 3D orientado por objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, a modelação, análise e dimensionamento do mais vasto conjunto de problemas de engenharia de estruturas [19].

- **Robot Structural Analysis**

Assim como o SAP2000, o Robot Structural Analysis é um programa de análise estrutural avançada que permite realizar análises lineares e não lineares de modelos de edifícios, pontes ou estruturas industriais [20].

- **Dynamo**

O Dynamo é uma plataforma de programação visual de código aberto instalado juntamente com o Revit que apresenta uma interface de programação gráfica com capacidade de personalizar o fluxo de trabalho de informações de construção [21].

### **2.1.7 Modelação por objetos e as relações paramétricas**

A geração atual de ferramentas de modelação de construção/edifício é o resultado de quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento em ferramentas computacionais para projeto 3D interativo, culminando na modelação paramétrica baseada em objetos [14].

No contexto BIM um objeto contém muito mais do que a mera informação sobre a sua representação geométrica [22]. Além dos seus parâmetros geométricos, um elemento ou objeto BIM pode acolher um vasto leque de informação, tais como, características técnicas (propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, massa, disposição de armaduras), informações sobre posicionamento e localização espacial, informações do fabricante, faseamento construtivo, custo, entre outros.

Segundo a Autodesk, a modelação paramétrica refere-se à relação entre todos os elementos de um projeto, que permite a coordenação e a gestão das alterações efetuadas. A plataforma Revit, por exemplo, dispõe desta funcionalidade e estas relações são criadas tanto automaticamente pelo *software* quanto pelo utilizador enquanto trabalha [9].

O conceito dos objetos paramétricos é fundamental para a compreensão do BIM e da sua diferenciação em relação aos tradicionais objetos 3D [14]. Torna possível alterar qualquer característica de um objeto ou a sua relação com outros objetos em qualquer fase do projeto, e o *software* adapta o modelo às alterações efetuadas, propagando-se para todas as vistas do modelo como referido anteriormente.

Por exemplo, os limites de um piso ou de um telhado está relacionada com a parede externa de tal maneira que quando a parede externa for movida, o piso ou telhado permanecerá unido a ela. Neste caso, o parâmetro é de associação ou conexão.

## **2.2 A REABILITAÇÃO**

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos esforços extraordinários no que diz respeito à construção de novos edifícios, o que conduziu ao abandono dos centros das cidades e do património edificado existente. Entretanto, a importância das cidades é cada vez maior.

Portanto, a reabilitação constitui cada vez mais um tópico de reflexão e consideração, principalmente devido a fatores como a atratividade dos centros históricos para o turismo, a importância social das



referências arquitetônicas nas comunidades e o aumento do gosto pelo charme e complexidade dos edifícios históricos, tanto no âmbito da habitação como no comércio e serviços [23].

A “*Reabilitação*” de edifícios é a forma de intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva a um ou a vários edifícios, às construções funcionalmente adjacentes incorporadas nos seus logradouros, bem como às frações eventualmente integradas nesse edifício, ou então, destinada a conceder-lhes novas aptidões funcionais, determinadas em função das opções de reabilitação urbana prosseguidas, com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com padrões de desempenho mais elevados, podendo compreender uma ou mais operações urbanísticas [24].

O termo Reabilitação está erradamente associado a diferentes tipos de intervenções como a conservação, o restauro, a manutenção, a reparação, a reconstrução, etc. Cada uma das diferentes intervenções possui características e significados distintos, porém todas prezam pela salvaguarda do património histórico, cultural e arquitetónico.

Antes de se iniciar qualquer projeto de reabilitação estrutural, torna-se necessário realizar o levantamento geométrico do edifício, de modo a serem desenhadas as plantas dos diferentes pisos e coberturas, alçados e cortes gerais, com cotas planimétricas e altimétricas [25].

Este levantamento geométrico, que pode ser realizado por processos mais ou menos complexos, permite identificar particularidades e resolvê-las de outra forma, sem ser na fase da execução da obra, onde soluções mais precárias são improvisadas conduzindo a um custo superior de intervenção.

### **2.2.1 Bases para o projeto de reabilitação**

Os levantamentos e reconhecimentos referidos anteriormente devem ser, sempre que possível, acompanhados ou mesmo dirigidos pelos autores do projeto, nomeadamente o engenheiro de estruturas [25].

É então necessário dispor também de estudos de diagnóstico, em que se faz a apresentação das soluções construtivas e das anomalias registadas, avaliando-se o estado de conservação do edifício e dos diferentes elementos, componentes e instalações.

Além disso, os projetistas devem ter em conta um conjunto de condicionamentos que geralmente afetam os edifícios antigos e que, por isso, contribuem para tornar esta área de intervenção dos técnicos de engenharia e arquitetura, tão complexa e simultaneamente atraente [25].

Pode-se então definir uma estratégia técnica num projeto de reabilitação que respeite os seguintes pontos:

1. As características tipológicas e morfológicas que refletem a arquitetura onde a construção está inserida;
2. A intervenção deve ser compatível com a estrutura e com os materiais do ponto de vista químico, mecânico, tecnológico e arquitetónico. Sempre que possível, é desejável reaplicar materiais e tecnologias tradicionais ao invés de preconizar o uso de materiais e técnicas modernas;
3. A inovação e criatividade, conferindo as condições de conforto e segurança requeridas atualmente, com o menor consumo possível de recursos novos e com o menor custo possível.
4. A reversibilidade, não comprometendo a possibilidade de retroceder na intervenção, recolocando o edifício nas condições iniciais.

### **2.2.2 Graus de intervenção**

Uma questão da maior importância, a definir em fase de projeto, é o grau de intervenção, que poderá ser estabelecido em função do programa previsto para a operação de reabilitação e tendo por base os estudos de diagnósticos que determinam o grau de degradação [25].

Segundo João Appleton, devem ser considerados quatro graus de reabilitação:

- A reabilitação ligeira que corresponde naturalmente a uma pequena graduação das intervenções, e compreende pequenas reparações consideradas de manutenção do edifício. Este tipo de reabilitação, no qual se mantém intocável a estrutura e a organização espacial do edifício, destina-se a edifícios bem conservados, podendo a intervenção processar-se sem grandes transtornos para os utilizadores do edifício.
- A reabilitação média que inclui, além dos trabalhos referidos da intervenção ligeira, o eventual reforço de alguns elementos estruturais e de fundações, nomeadamente a substituição parcial ou integral dos pavimentos de madeira, introdução de novas instalações elétricas e algumas alterações espaciais. Abrange numerosos edifícios mal conservados e obsoletos, mas que não apresentam problemas estruturais significativos. Os utilizadores são já francamente afetados pelo decorrer das obras e o custo da intervenção pode atingir até cerca de metade do custo de construções novas.
- A reabilitação profunda adotada quando os edifícios apresentam um grau de deterioração e/ou obsolescência muito elevado, incluindo roturas parciais de coberturas e pavimentos, fendilhação de paredes, etc. É imprescindível trabalhar com o edifício desocupado, sendo o interior do

edifício profundamente alterado, mantendo apenas as paredes mestras e a fachada do edifício. Os custos destas intervenções são próximos ou até mesmo um pouco superiores aos custos da construção nova.

- A Reabilitação excecional está integrada no grau de reabilitação profunda em que se faz apelo a técnicas de restauro, construção ou níveis de exigências extremamente elevados. É um grau de intervenção a considerar, quase exclusivamente, em edifícios únicos e monumentais de valor indiscutível.

## 2.3 BIM NA REABILITAÇÃO

Analogamente aos projetos de edifícios novos, em que a metodologia BIM já é uma realidade, o BIM na reabilitação é um campo em rápido desenvolvimento em termos de pesquisas e prática profissional [26].

Tendo em consideração que antigamente, na altura da elaboração e construção destes edifícios o uso de ferramentas avançadas de desenho não era uma realidade, o acesso a documentação em 3D ou até mesmo em duas dimensões dos edifícios antigos, é uma necessidade atual. O passo lógico para a realização dos modelos construídos é a reconstrução virtual implementando a metodologia BIM [26]. Nos dias de hoje, apesar dos desenvolvimentos rápidos, os principais desafios surgem na automatização de modelação das geometrias singulares presentes nos edifícios existentes e na adaptação do BIM aos seus requisitos [2].

No que se refere à criação dos modelos BIM distinguem-se 3 processos conforme sejam edifícios novos ou existentes (ver Figura 2.7) [2]. Para os edifícios novos, o modelo é criado num processo denominado *“as-planned”* que se traduz por *“como planeado”* (caso I). Nos edifícios existentes, o processo de criação varia de acordo com a disponibilidade de documentação de construção preexistente (caso II ou caso III). O segundo caso refere-se aos edifícios existentes com documentação de construção preexistente, porém insuficiente, podendo então ser atualizados. Por fim o terceiro caso, refere-se aos edifícios sem nenhuma documentação do preexistente, sendo necessário realizar o processo *“points-to-BIM”*.

Ambos os processos dos edifícios existentes devem reunir e representar as atuais condições do edifício (*“as-built”*). De forma análoga, os casos dos edifícios novos também devem ser feitos através de um processo que permita a atualização para um modelo BIM *“as-built”* (ver Figura 2.7).

Para criar o modelo construído através do processo *“points-to-BIM”* é importante ter em consideração 4 etapas fundamentais: aquisição de dados, processamento de dados, reconhecimento do objeto e modelação 3D [2].

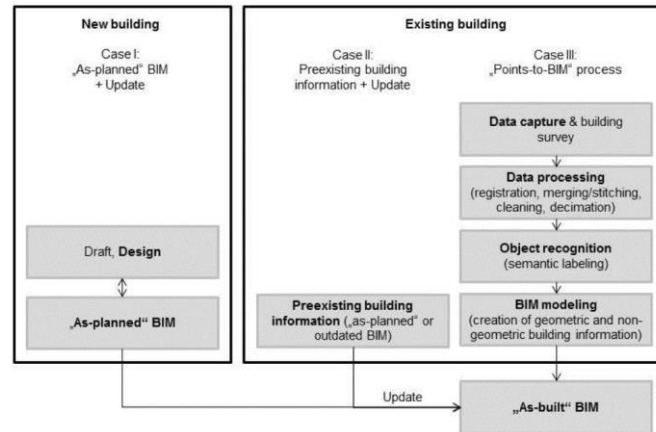


Figura 2.7 - Criação do modelo BIM [2].

### 2.3.1 Levantamento de dados (*Data capture*)

O acesso a documentação com informações relativa aos edifícios antigos é um requisito fundamental para qualquer projeto de reabilitação. Como referido anteriormente, este acesso às informações é na maioria das vezes insuficiente ou até mesmo inexistente. Sendo assim será necessário aplicar técnicas que permitam fazer o levantamento completo do edifício nas condições em que este se encontra.

Na Figura 2.8 é possível observar uma variedade de técnicas de levantamento de dados agrupadas em técnicas de contacto e sem contacto. Das técnicas de contacto destacam-se as técnicas manuais como o uso de fitas métricas, calibradores e equipamentos eletrónicos de medição de distância. Das técnicas sem contacto, destacam-se as técnicas baseadas em imagens como por exemplo a fotogrametria e videogrametria; técnicas baseadas no alcance como o *laser scanning* (LS) e *laser measuring*; e outras técnicas mais tradicionais como RFID – *Radio Frequency Identification*, código de barras, fotografias, plantas existentes e GPS - *Global Positioning System* [2].

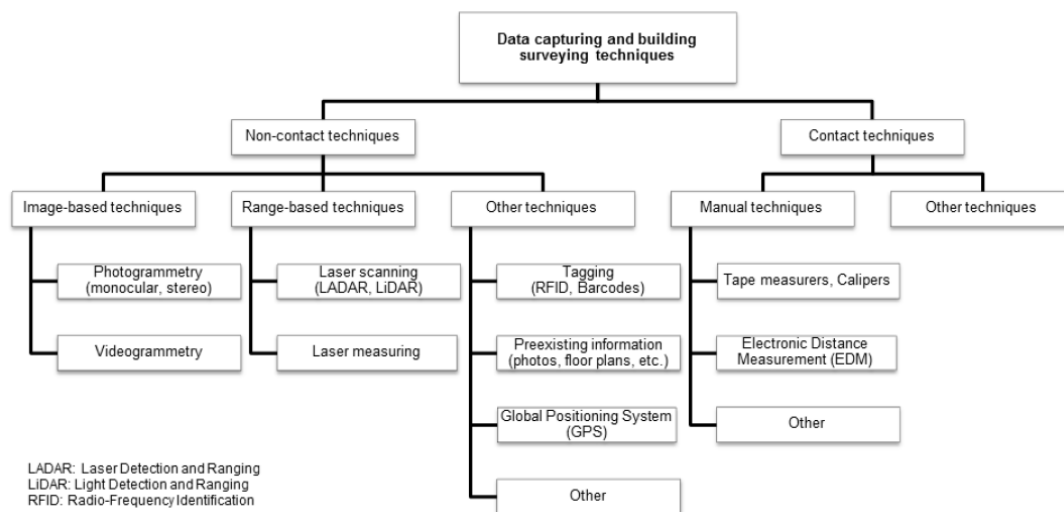


Figura 2.8 - Técnicas utilizadas para levantamento do existente [2].

As principais técnicas associadas ao BIM são a fotogrametria e o *laser scanning*, embora a última seja afetada por desvantagens como alto custo de equipamento e fragilidade, bem como dificuldades na digitalização de superfícies reflexivas, transparentes e escuras [2].

### **2.3.1.1 Fotogrametria**

A fotogrametria é uma técnica que permite obter, medir e interpretar informações fiáveis sobre as propriedades de superfícies e objetos sem que se estabeleça contacto físico com os mesmos [26]. Estas informações são obtidas predominantemente na forma de imagens fotográficas.

A tarefa fundamental da fotogrametria é estabelecer de forma rigorosa a relação geométrica entre a fotografia e o objeto no momento em que esta foi obtida [27].

Quanto ao modo de aquisição esta técnica pode ser classificada por terrestre ou aérea. Esta técnica origina produtos que podem ser divididos em três categorias: produtos fotográficos, resultados computacionais (nuvem de pontos com um número reduzido de pontos) e mapas [26].

### **2.3.1.2 *Laser scanning* (LS)**

O varrimento a *laser*, nos últimos anos, tornou-se uma técnica de interesse para os profissionais da arqueologia, conservação arquitetónica e documentação dos edifícios históricos. Esta técnica oferece uma oportunidade interessante para aumentar os métodos de gravações e medição dos objetos existentes e oferece novas maneiras de exibir e apresentar as suas relações espaciais [28].

A metodologia de varrimento a *laser* consiste no uso de um dispositivo que usa um *laser* para medir as coordenadas tridimensionais de uma ou mais superfícies de objetos de forma automática, numa ordem sistemática e com uma cadência regular elevada quase em tempo real [29].

Assim como a fotogrametria, esta técnica pode ser classificada por terrestre ou aérea consoante seja aplicada a partir de uma plataforma terrestre (por exemplo sobre um tripé) ou aplicada a partir de uma plataforma aérea (por exemplo um avião).

O registo pode ser realizado através dos três métodos seguintes, sendo o primeiro o método mais utilizado atualmente para registo de dados [30]:

1. Usando alvos uniformemente distribuídos que podem ser artefactos específicos (por exemplo, esferas, alvos planares) e que devem ser colocados na área a ser fotografada para que sejam visíveis a partir de várias localizações do mesmo ou de diferentes instrumentos.
2. Colocando o *scanner* sobre um ponto com coordenadas conhecidas (denominado ponto de controle) e avistar outro ponto conhecido para medir a orientação (o eixo dos *zz* corresponde

tipicamente à direção vertical e utiliza como referência valores retirados do nivelamento do instrumento);

3. Pela correspondência entre as superfícies, entre a superfície com a nuvem de pontos ou entre as nuvens de pontos.

Os *scanners* a laser medem a distância do sensor até superfícies próximas com precisão entre o milímetro e o centímetro, a velocidades de milhares a centenas de milhar de medições pontuais por segundo. Um único varrimento pode conter vários milhões de pontos 3D. Como um único local de digitalização pode não visualizar todas as superfícies dentro de uma instalação, a nuvem de pontos deve ser obtida a partir de vários locais. Muitas vezes, uma câmara digital é acoplada ao equipamento para capturar imagens do ambiente, que podem ser posteriormente fundidas com os dados 3D para auxiliar no processo de modelação [31].

### 2.3.2 Processamento de dados (*Data processing*)

As nuvens de pontos resultantes de cada varrimento são inicialmente representadas no quadro de coordenadas local do *scanner* (no caso do *laser scanning*). Todos os dados necessitam de estar alinhados num sistema de coordenadas global e comum através de um processo conhecido por registo [31].

Embora já tenham sido desenvolvidos métodos de registo automatizados, na prática atual, o registo ainda é um processo semi-automatizado. Normalmente, os utilizadores devem identificar manualmente, nos dados 3D, localizações aproximadas de alvos especializados que foram colocados no ambiente para ajudar no registo. O pré-processamento de dados também pode incluir filtragem manual ou automatizada para remover dados indesejados, como pontos de movimentação de objetos, reflexos ou artefactos de sensores [31].

### 2.3.3 Reconhecimento do objeto (*Object recognition*)

Os dados capturados do edifício, depois de processados são usados para reconhecer componentes do edifício e suas características relevantes para as funcionalidades requeridas. O reconhecimento de objetos inclui a identificação de objetos bem como a extração de informações relacionais e semânticas [2].

Os métodos e ferramentas de reconhecimento de objetos diferem de acordo com a complexidade geométrica dos edifícios, LOD exigido e técnica de captura aplicada, formato de dados ou tempo de processamento [2].

### 2.3.4 Modelação

A modelação, a última etapa da criação do modelo BIM “*as-built*” envolve 3 aspetos: em primeiro lugar a modelação geométrica do componente (“Qual é a forma desta parede?”), seguida da atribuição de categorias e propriedades dos materiais aos componentes (“Este objeto é uma parede de tijolos.”) e finalmente, o estabelecimento de relações entre eles (“Parede1 está ligada à Parede2 neste local”). Este processo geralmente é manual [31] [32].

Quando na presente literatura é citada a expressão BIM “*as-built*”, significa que o edifício é descrito com uma representação BIM relativa ao estado do edifício no momento da pesquisa. Assim, informa também sobre o estado de conservação do edifício histórico [32].

A modelação geométrica consiste em criar representações de componentes de edifícios através da associação de objetos simples, denominadas primitivas geométricas, aos dados da nuvem de pontos (*Point Cloud*). Primitivas geométricas podem ser qualquer coisa, desde um único ponto (chamado vértice), uma linha (um bordo), uma curva (um *spline*), até objetos tridimensionais (faces ou polígonos). Por exemplo, uma parede simples pode ser modelada como uma figura plana, ou como uma caixa retangular (cuboide). Superfícies como molduras ou esculturas decorativas podem não ser bem modeladas por uma simples primitiva geométrica. Nesses casos, diferentes técnicas de modelação podem ser usadas. Para estruturas lineares (por exemplo, molduras), uma secção transversal do objeto pode ser modelada e seguidamente aplicado um varrimento ao longo de uma trajetória para formar o modelo de objetos através do comando SWEEP disponível no Revit (ver Figura 2.9) [31].

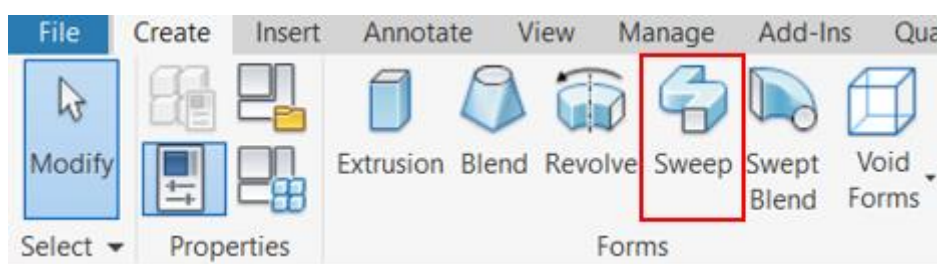


Figura 2.9 - Localização do comando *Sweep* no Revit.

Estruturas mais complexas (por exemplo, esculturas decorativas) podem ser modeladas de forma não paramétrica, usando malhas triangulares, por exemplo, ou podem ser modeladas a partir de um banco de dados de modelos de objetos conhecidos [33]. Outra técnica de modelação dessas estruturas é a modelação através do *software* Dynamo a partir de regras complexas (ver Figura 2.10).

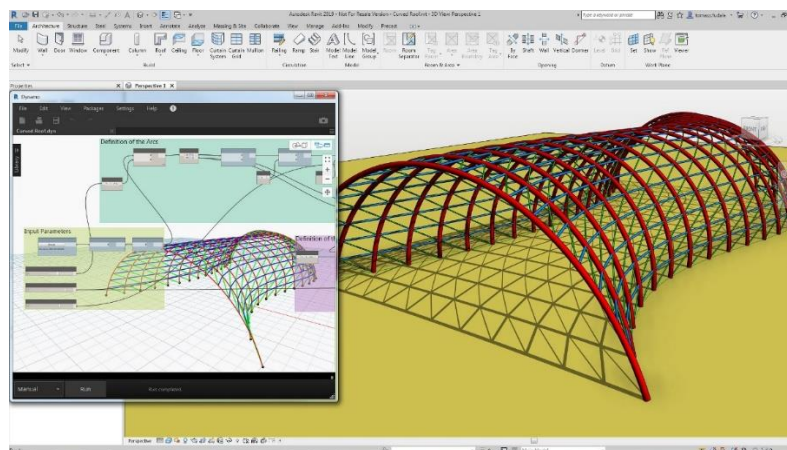


Figura 2.10 - Exemplo de modelação de uma estrutura complexa no Dynamo.

De seguida, essas representações baseadas na superfície precisam ser transformadas em modelos sólidos. Os componentes modelados são rotulados com uma categoria de objeto. As categorias padrão dos *softwares* BIM incluem paredes, telhados, lajes, vigas e pilares [5]. Além disso, categorias personalizadas de objetos podem ser criadas com base em necessidades individuais do projeto.

Estabelecer relações topológicas entre dois componentes ou entre componentes e espaços, é o terceiro aspeto importante a considerar na criação do modelo BIM “*as-built*”. Relacionamentos de conectividade indicam que objetos estão ligados a outros e como acontecem essas ligações. Por exemplo, paredes adjacentes podem ser conectadas nos seus limites, e as restantes paredes conectadas a lajes nos bordos inferiores [31].



## CAPÍTULO 3

### INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Assim como previsto no planeamento inicial, no decorrer do estágio realizado no NCREP foi possível ao estagiário realizar o acompanhamento de algumas obras de reabilitação em fase de inspeção e diagnóstico estrutural.

Neste capítulo são apresentadas duas das obras em fase de inspeção que o estagiário teve a oportunidade de acompanhar, abordando os aspetos mais importantes como a descrição do edifício, os materiais e o estado de conservação dos elementos estruturais existentes, bem como os ensaios e sondagens realizadas.

Foram realizadas visitas técnicas aos edifícios onde foram feitas inspeções visuais, sondagens, levantamentos estruturais e ensaios experimentais *in situ* que serviram de base para a elaboração do Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural (RID) com o objetivo de avaliar o estado de conservação estrutural dos edifícios em estudo.

#### 3.2 INSPEÇÃO 1 – EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

O edifício alvo de inspeção fica localizado no centro do Porto e é composto por três corpos ligados entre si. A data de construção original do edifício é desconhecida, no entanto estima-se que seja anterior ao ano de 1900. Tem no total dos 3 corpos, uma área de implantação de aproximadamente 425 m<sup>2</sup> sendo que o corpo principal possui 5 pisos.

##### 3.2.1 Caracterização construtiva e estrutural

O edifício em geral apresenta uma estrutura portante constituída por paredes exteriores em alvenaria de granito e interiores em tabique, com exceção de uma das paredes longitudinais internas do edifício que também é de alvenaria de granito até uma determinada cota (ver Anexo I). Os pavimentos, escadas e cobertura (com várias águas) são em estrutura de madeira. Pontualmente existem alguns pavimentos em

betão armado, ou em betonilha sobre soalho de madeira. Para além disso, o corpo secundário apresenta um volume com pilar, vigas e lajes de betão armado, assim como paredes de alvenaria de tijolo.

As figuras que se seguem ilustram o sistema construtivo e estrutural do edifício:



a) Alvenarias de pedra



b) Paredes de tabique duplo (janela de sondagem)



c) Asna de madeira

d) Viga metálica na direção das vigas de madeira do piso 0



e) Teto do volume em betão do corpo secundário

Figura 3.1 - Sistema construtivo e estrutural do edifício.

### 3.2.2 Ensaios e sondagens realizadas no local

Durante a inspeção ao edifício foram realizados ensaios não, ou medianamente destrutivos com o intuito de caracterizar, por amostragem, a constituição, a geometria, o estado de conservação e, nalguns casos, as características mecânicas dos elementos estruturais. Foram utilizados os seguintes instrumentos:

- (i) Higrómetro – determinou o teor em água dos elementos, dando indicações acerca de eventuais entradas de água no interior e do potencial ataque de agentes bióticos, Figura 3.2 a).
- (ii) Resistógrafo - permitiu verificar o estado de conservação das peças de madeira, relativamente ao seu estado de conservação superficial e interno avaliando a extensão de possíveis ataques bióticos, Figura 3.2 b);
- (iii) Martelo - forneceu informações acerca do estado de conservação da madeira, através da apreciação do som da resposta produzido pelo seu impacto. Figura 3.2 c);
- (iv) Detetor de metais – permitiu estimar o alinhamento das vigas de madeira e os respetivos espaçamentos através de identificação dos pregos na ligação do soalho às vigas, Figura 3.2 d).
- (v) Formão – permitiu estimar de uma forma relativa/qualitativa a dureza da madeira e a existência de degradações superficiais nos elementos;



a) Ensaio com higrómetro



b) Ensaio com Resistógrafo



c) Ensaio com martelo



d) Detetor de metais

Figura 3.2 - Alguns dos instrumentos utilizados na inspeção aos elementos de madeira

Nos elementos de madeira foram abertas 11 janelas de sondagem em pavimentos com levantamento de tábuas de soalho, 2 janelas de sondagem em paredes de tabique com o levantamento do reboco e realizados ensaios de carácter não destrutivo.

No total foram efetuados 42 ensaios com recurso ao Resistógrafo em zonas especificamente escolhidas e representativas dos elementos estruturais de madeira e/ou com maior potencial de degradação, em particular por presença de água, ou ataques bióticos. Alguns dos resultados destes ensaios são apresentados no Anexo II.

Nos elementos de alvenaria de pedra do contorno exterior do corpo principal foram abertas janelas de sondagem e realizados 2 ensaios de carácter medianamente destrutivo através do uso de macacos planos duplos. Estes ensaios permitiram caracterizar o comportamento mecânico do material para ações de carga e descarga axiais verticais (curvas tensão vs deformação) e estimar a rigidez e a capacidade resistente da alvenaria. Foram ainda extraídos 2 carotes das lajes de betão armado do teto do piso 1 apresentadas na Figura 3.3.



a) Carote C1



b) Carote C2

Figura 3.3 - Carotes de betão extraídos.

### 3.2.3 Anomalias e danos estruturais

#### 3.2.3.1 Mapeamento das anomalias e danos observados

Para uma adequada caracterização e localização, foi elaborada uma lista de anomalias/danos devidamente identificados nos elementos estruturais, sendo a sua representação feita espacialmente nas peças desenhadas. A lista de anomalias/danos estruturais utilizada encontra-se apresentada na Figura 3.4. As anomalias e danos estruturais observados no edifício e apresentados neste subcapítulo foram mapeados e documentados nas peças desenhadas apresentadas no Anexo III.



ANOMALIAS E DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS VERTICAIS	
Manchas de humidade	A1
Fissuração em arco de pedra	A2
Presença ou degradação por ataque de fungos	A3
Fissuração generalizada	A4
Fissuração diagonal	A5
Fissuração vertical	A6
Fissuração horizontal	A7
Fissuração na ligação entre paredes ortogonais	A8
Degradação da base da parede	A9

ANOMALIAS E DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS	
Manchas de humidade	M1
Tijolos cerâmicos degradados com desagregação	M2
Presença ou degradação por ataque de fungos	M3
Presença ou degradação por ataque de caruncho	M4
ELEMENTOS METÁLICOS	
Oxidação/corrosão	B1

Figura 3.4 - Lista de anomalias/danos estruturais.

### 3.2.3.2 Danos estruturais observados

#### Elementos estruturais de alvenaria

As paredes exteriores de alvenaria de pedra de granito apresentam-se, de uma forma geral, em bom estado de conservação, não tendo sido observados danos estruturais significativos ou preocupantes para a estabilidade do edifício associados a deformações ou roturas. No entanto, as principais anomalias detetadas são as manchas de humidade com entrada de água, a fissuração generalizada (fissuras horizontais, verticais e oblíquas), o ataque de fungos e a degradação da base da parede.

As fotografias seguintes exemplificam algumas das anomalias detetadas nas paredes de alvenaria:



a) Manchas de humidade



b) Fissuração diagonal



c) Presença de fungos



d) Degradação da base da parede

Figura 3.5 - Anomalias identificadas nas paredes de alvenaria.

#### Elementos metálicos e de betão armado

A estrutura de betão armado da laje de teto do piso 1 do corpo secundário apresenta-se estável, sem fissuras, ou roturas visíveis. No entanto, as amostras extraídas mostram tratar-se de um betão muito poroso, com godo de grande dimensão, facto que facilitou a penetração de água. As lajes apresentam espessuras de betão de recobrimento muito pequenas, inferiores a 15mm, o que provavelmente provocou a corrosão das armaduras registada. No caso das vigas, apesar das maiores espessuras de recobrimento existentes, a entrada de água e a porosidade do betão causaram também a oxidação das armaduras, visível através do destaque do betão de recobrimento das lajes e das sondagens realizadas nas vigas, mas sem que tenham ocorrido perdas de secção relevantes. Também as vigas metálicas de um pavimento misto [ver Figura 3.1d)] e os pilares das marquises nos pisos 2 e 3 do alçado Sul do corpo principal se encontram oxidados, mas também neste caso sem que tenham ocorrido perdas de secção relevantes (ver Figura 3.6).



Figura 3.6 - Pilares metálicos de apoio à estrutura dos pavimentos das marquises.

#### Elementos estruturais de madeira

Os elementos estruturais de madeira, nomeadamente os pavimentos e as paredes de tabique, nas zonas que se mantiveram secas ou que não foram alvo da entrada de água não apresentam roturas, ou deformações/danos significativos. Nas zonas onde se registaram maiores índices de humidade, nomeadamente nas zonas onde houve entrada de água, os elementos de madeira, em particular as vigas dos pavimentos, sofreram nalguns casos perdas de resistência e/ou degradações significativas, em particular ataques de fungos, observadas e/ou registadas através do uso do resistógrafo. Apenas foram registados ataques de caruncho significativos, com cerca de 10 a 20mm de espessura, em vigas em zonas localizadas do piso 0 e onde se registaram teores de humidade mais elevados (cerca de 23%).

### 3.2.4 Estado de conservação

A inspeção visual e a realização de sondagens nos elementos estruturais permitiram concluir que o edifício apresenta globalmente uma boa qualidade construtiva e um bom estado de conservação, exibindo danos estruturais causados, em particular, pela presença de água, resultante principalmente do estado de degradação da cobertura e do sistema de drenagem de águas pluviais e que se manifesta em diversas zonas do edifício sendo que num dos corpos a humidade é generalizada.

Esta situação, que resulta da falta de manutenção a que o edifício terá sido votado nos últimos anos, potencia a degradação dos elementos de revestimento do edifício e das juntas das paredes de alvenaria de pedra, assim como cria condições para a degradação dos elementos de madeira e o desenvolvimento de fenómenos de corrosão nas armaduras dos elementos de betão armado.

## 3.3 INSPEÇÃO 2 – EDIFÍCIO DE UTILIZAÇÃO MISTA

Este subcapítulo refere-se à inspeção realizada à estrutura resistente de madeira do 2º piso e da cobertura de um edifício localizado numa vila do distrito de Viana do Castelo (ver Figura 3.7). Este edifício possui 3 pisos sendo que o piso 0 tem ocupação relacionada com comércio, o piso 1 com escritórios e o piso 2 é destinado a habitação.



Figura 3.7 - Localização do edifício [34].

### 3.3.1 Caracterização construtiva e estrutural

O edifício, que apresenta uma planta retangular com uma área de implantação de aproximadamente 136m<sup>2</sup>, é constituído por uma estrutura portante principal composta por paredes de alvenaria de pedra na delimitação do contorno exterior, até ao pavimento do piso 2. Existe uma parede de alvenaria de pedra no interior do edifício transversal ao alçado voltado a Este até à cota do pavimento do piso 2. Os restantes elementos verticais do edifício, nomeadamente as paredes interiores e as paredes exteriores do contorno do piso 2 (com exceção do tramo Norte do alçado voltado a Este no 2º piso que é de alvenaria), são de tabique. A comunicação vertical no edifício é realizada através de escadas em estrutura de madeira.

As figuras que se seguem correspondem às paredes existentes no edifício:



(a) Parede em tabique interior (zona de circulação)



(b) Paredes interiores em tabique no compartimento a Sudeste do edifício



(c) Parede em tabique exterior (alçado Sul)



(d) Parede em tabique exterior (alçado poente)

Figura 3.8 - Paredes em tabique do edifício.

O edifício apresenta uma cobertura de quatro águas, constituída por uma estrutura de madeira que apoia nas paredes de tabique exteriores e interiores do piso 2 e em alguns casos diretamente sobre a estrutura do teto do piso 2 através de prumos (ver Figura 3.9).





Figura 3.9 - Cobertura do edifício em estrutura de madeira.

### 3.3.2 Ensaios e sondagens realizadas no local

Para a caracterização geométrica, material e do estado de conservação dos elementos estruturais do edifício alvo de inspeção foram realizados ensaios tendencialmente não destrutivos, utilizando instrumentos como o martelo, o formão e o resistógrafo.

Nestes ensaios incluiu-se uma campanha de abertura de janelas de sondagem em paredes de tabique, apresentadas na Figura 3.10, que permitiu um levantamento mais completo das características destes elementos estruturais. Esta campanha procurou minimizar o impacto nos elementos construtivos. Nas peças desenhadas do Anexo IV estão identificadas as localizações dos ensaios sob a numeração S-i.



a) Sondagem S-01



b) Sondagem S-02



c) Sondagem S-03

Figura 3.10 - Janelas de sondagem em paredes de tabique.

Para além das sondagens realizadas, as ações de inspeção e diagnóstico da estrutura foram complementadas com ensaios com recurso ao Resistógrafo. No total foram realizados 10 ensaios em elementos de madeira através de Resistógrafo em zonas especificamente escolhidas e representativas das estruturas de madeira do edifício. Além dos 6 ensaios realizados nos elementos da cobertura, foram realizados 4 ensaios em vigas de madeira do pavimento do piso 2 de forma a avaliar o seu estado de degradação e a sua eventual interação com os danos das paredes de tabique e cobertura.

### **3.3.3 Anomalias e danos estruturais**

As anomalias e danos estruturais observados no edifício e apresentados neste subcapítulo foram mapeados e documentados nas peças desenhadas apresentadas no Anexo IV.

#### **3.3.3.1 Danos estruturais observados**

##### Cobertura

Os elementos estruturais de madeira da cobertura encontram-se de uma forma geral em razoável estado de conservação, embora alguns elementos estruturais apresentem degradações com alguma gravidade. Durante os trabalhos de inspeção foram detetados ataques de fungos em zonas de entrada de água, Figura 3.11 a) e Figura 3.11 b), em rincões, varas e ripas. Embora não sejam tão expressivos, foram também identificados ataques superficiais de agentes bióticos (caruncho) em alguns elementos estruturais com profundidade de aproximadamente 1cm, Figura 3.11 c). Os resultados do Resistógrafo apontam para que a madeira em geral apresente boas características mecânicas, embora com degradações superficiais.

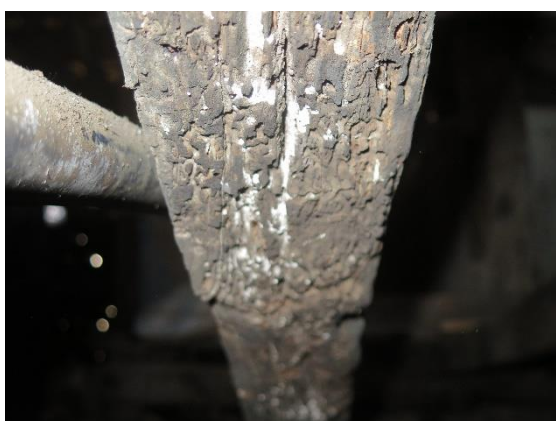
Pontualmente observou-se a encurvadura de varas, Figura 3.11 f) e de diagonais e prumos de madeira de suporte da cobertura, Figura 3.11 d). Este dano resulta da esbelteza elevada destes elementos face às cargas que recebem atualmente. Esta situação presume-se que seja resultado da possível alteração da estrutura da cobertura ocorrida no passado. O eventual (re)aproveitamento dos elementos pré-existent, preparados para vãos menores entre elementos, poderá ter promovido esta situação e que resultou na instalação de apoios secundários, nomeadamente prumos e diagonais, para resolver, não só, situações de instabilidade/encurvadura, como de rotura ou pré-rotura pontual de peças. Em particular, este sub-dimensionamento da estrutura resultou na rotura de um rincão Figura 3.11 e). A rotura deste elemento foi ainda potenciada pelo ataque de fungos e a consequente fragilização da madeira desta peça.



a) Ataque de fungos com redução elevada de secção resistente



b) Ataque de fungos no frechal voltado a nascente



c) Ataque de caruncho em diagonal



d) Diagonais encurvadas



e) Rotura de rincão



f) Deformação das varas

Figura 3.11 - Danos nos elementos estruturais da cobertura.

### Paredes de tabique

De uma forma geral, as paredes de tabique do piso 2 encontram-se em razoável/mau estado de conservação material, apresentando em algumas zonas danos significativos resultantes de ataques de agentes bióticos promovidos pela entrada da água. A maior humedificação é no alçado a Sul e resulta em

parte da presença da parede do edifício confinante que o sombreia e condiciona as condições de ventilação do local.

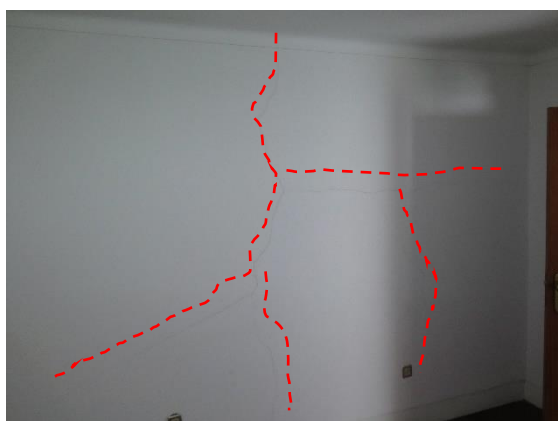
Em termos gerais, as paredes de tabique apresentam um padrão de fissuração extenso em todos os panos causado pela deformação do seu apoio, nomeadamente dos pavimentos, mas de forma particular das paredes de tabique interiores que suportam estes pavimentos [ver Figura 3.12 c) e Figura 3.12 d)]. Esta fissuração, em particular nas paredes exteriores, promove a entrada de água e a consequente humedificação dos elementos de madeira, criando as condições ótimas para o aparecimento de ataques de fungos [ver Figura 3.12 a) e Figura 3.12 b)]. A parede exterior no topo Este do alçado voltado a Sul, apresenta um ligeiro movimento para fora do seu plano na direção do exterior e que poderá ter resultado de impulsos horizontais impostos pela estrutura da cobertura.



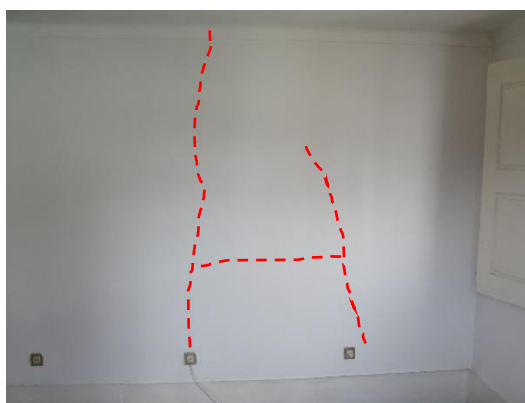
a) Ataque de fungos



b) Fissuração de paredes exteriores/  
ataque de fungos



c) Fissuração de paredes interiores



d) Fissuração em paredes interiores

Figura 3.12 - Danos em paredes de tabique.

### Teto do piso 2

Os tetos do piso 2 apresentam um razoável/mau estado de conservação material, possuindo fissuração e manchas de humidade distribuídas de forma generalizada [ver Figura 3.13 a) e Figura 3.13 b)]. Apresentam



ainda elevada deformação com orientação descendente para o centro do edifício e ataques de fungos que, em alguns casos, resultaram na degradação do fasquiado e rotura do estuque [ver Figura 3.13 c)].

Os danos identificados nos tetos do piso 2 estão diretamente relacionados com a entrada de água pela cobertura, pelos movimentos das paredes de tabique que lhe dão suporte e por carregamentos indevidos resultantes da ação dos prumos de suporte das varas da cobertura que apoiam em barrotes da estrutura dos tetos [ver Figura 3.13 d)].



Fissuração e manchas de humidade (quarto de banho a Norte)



Manchas de humidade e fissuração (compartimento a Sudeste)



Ataque fungos com degradação do fasquiado e rotura do estuque (compartimento a Sudoeste)



Carregamento indevido da cobertura sobre a estrutura do teto (compartimento a Sudeste)

Figura 3.13 - Danos em tetos do piso 2.

### Pavimentos do piso 2

Através dos ensaios realizados com o resistógrafo em vigas de madeira dos pavimentos nas zonas de ligação entre as vigas e o alçado voltado a Oeste, foi possível detetar degradações profundas nas extremidades de algumas vigas. Estes danos, resultantes da entrada de água, verificam-se, em particular, junto às varandas dos alçados voltados a Sul e Oeste e na área a Sudeste.

Assim como os tetos, os pavimentos do piso 2 apresentam elevada deformação com orientação descendente para o centro do edifício. Esta deformação está possivelmente relacionada com a carga resultante da ação dos pavimentos e da cobertura que descarrega sobre as paredes de tabique interiores do edifício, associada às descontinuidades verticais destas paredes entre pisos. Esta descontinuidade promove uma maior flexibilidade da estrutura em geral, e uma maior deformação do vigamento dos pavimentos, conduzindo à fluência das vigas do pavimento entretanto estabilizada.

### 3.3.4 Estado de conservação

Os elementos em análise do edifício apresentam um razoável a mau estado de conservação material. Os danos identificados estão essencialmente relacionados com entradas de água e deficientes conceções estruturais. Em particular, foram identificados ataques de insetos sociais (térmitas) em rodapés e na caixilharia de uma janela na zona sudoeste do edifício (ver Figura 3.14), evidenciando a possibilidade de existirem ataques no interior das paredes de tabique e cobertura. No entanto, durante a inspeção não foram identificados outros pontos com ataques de térmitas.



a) Ataque de térmitas em peça de rodapé



b) Ataque de térmitas ativo em caixilharia

Figura 3.14 - Ataque de térmitas em elementos de revestimentos

### 3.3.5 Sugestões de medidas de intervenção

O edifício apresenta danos relacionados com o estado de conservação material dos elementos estruturais de madeira, mas sobretudo com a solução estrutural implementada, que põem em causa o correto funcionamento global do edifício.

Nos seguintes pontos será feita a abordagem às medidas de intervenção que se creem necessárias para a contenção da deformação dos pavimentos e tetos e reabilitação das paredes do piso 2 e da estrutura da cobertura.

### Cobertura

Dado o estado de conservação material razoável/mau da cobertura e o facto de apoiar nas paredes de tabique interiores e nos tetos do piso 2, situação que tende a agravar a deformação das paredes, pavimentos e tetos do piso 2, considerou-se que a estrutura da cobertura deverá ser substituída por uma estrutura autoportante que se apoie, preferencialmente, nas paredes de tabique exteriores do piso 2. Tal estrutura permite libertar as paredes interiores das cargas impostas atualmente pela estrutura da cobertura e evita a introdução de impulsos horizontais nas paredes de tabique exteriores. A implementação desta nova estrutura poderá obrigar à inclusão de pilares de madeira embebidos nas paredes de tabique exteriores do edifício nos pontos de apoio. Estes pilares apoiariam na parede de alvenaria de pedra que termina à cota do pavimento do piso 2, transmitindo as cargas verticais da cobertura diretamente para as paredes de alvenaria de pedra. As paredes interiores funcionariam tanto como paredes divisórias e de suporte dos tetos do piso 2, mas também como paredes de contraventamento horizontal do edifício à cota do piso 2, devendo para isso promover a sua boa ligação às paredes de tabique exteriores.

### Paredes de tabique

Considerou-se que as paredes de tabique poderão ser mantidas através de ações de reabilitação/ reforço, nomeadamente através da picagem dos rebocos degradados e substituição de tábuas degradadas por elementos de características semelhantes. No caso das paredes exteriores, poderá ser necessário reforçar estas paredes através da pregagem numa das faces de placas de OSB, por forma a melhorar a sua capacidade resistente. Para além disso, no caso destas paredes o reboco exterior deverá ser preferencialmente removido, em particular nas zonas identificadas como críticas, para se efetuar um tratamento geral da madeira através de aplicação de um produto inseticida e fungicida. A reposição do reboco deverá ser idealmente feita com argamassas à base de cal. O acabamento da parede pelo exterior deverá ser impermeável à água e permeável ao vapor de água.

### Tetos do piso 2

Os tetos do piso 2 poderão ser mantidos com ações de reabilitação pontual, através da picagem dos estuques degradados, a substituição dos elementos de madeira degradados por elementos de secção equivalente e a reposição do estuque. A estrutura e fasquiado dos tetos do piso 2 em madeira deverão receber um tratamento fungicida e inseticida em toda a sua extensão.

### Pavimentos do piso 2

Os pavimentos do piso 2 poderão ser mantidos através de reforços que se estimam pontuais, em particular nas zonas de apoio sobre as paredes. Caso se pretenda aumentar a rigidez dos pavimentos, de

forma a diminuir o eventual desconforto provocado pela sua vibração e minimizar, no futuro, a possível deformação do pavimento, deverão ser colocadas novas vigas de madeira entre as vigas existentes. Estes trabalhos poderão ser efetuados pela face superior, prescindindo do soalho que teria de ser removido. As deformações instaladas nos pavimentos só poderão ser corrigidas mediante o levantamento do soalho e o seu recalçamento. Esta eventual operação de renivelamento dos pavimentos deverá precaver a ocorrência de novos danos nas paredes de tabique que sobre eles apoiam.



## CAPÍTULO 4

### CASOS DE ESTUDO

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados 2 casos de estudo desenvolvidos pelo autor no decorrer do estágio. Com estes casos de estudo, pretendia-se reunir um conjunto de instruções para a implementação da metodologia BIM em projetos de reabilitação. Este conjunto de instruções tem o objetivo de ilustrar como pode ser aplicado o BIM a projetos de reabilitação desde a fase de levantamento e recolha de dados do existente até à obtenção dos desenhos de apoio à obra, passando pela fase de modelação do edifício, onde podem ser definidos os elementos a manter, os elementos a ser demolidos e elementos a construir.

#### 4.2 APLICAÇÃO A UM PROJETO DE HABITAÇÃO E COMÉRCIO

Para o estudo aprofundado de um caso de aplicação da metodologia BIM a um projeto de reabilitação, foi disponibilizado pelo NCREP, um projeto de reabilitação de um edifício de habitação e comércio de 4 pisos localizado na cidade do Porto.

A modelação do edifício em 3D teve início ainda no decorrer do desenvolvimento do projeto estrutural pela forma tradicional, ou seja, na medida que se projetava a estrutura tradicionalmente, o modelo 3D ia sendo desenvolvido possibilitando assim uma melhor visualização do edifício e das soluções adotadas.

##### 4.2.1 Descrição do edifício alvo de estudo

O edifício alvo de estudo é um edifício típico da cidade do Porto, de 2 pisos, com estrutura de alvenaria de pedra e madeira. O projeto corresponde a uma obra de alteração e ampliação pretendendo-se ampliar em profundidade e altura, através da criação de dois pisos recuados (passando o edifício a ter 4 pisos), alterar a compartimentação interior e a estrutura resistente, bem como as fachadas, com vista à alteração de uso de serviços para habitação e comércio.

O edifício tem uma área de implantação de 137 m<sup>2</sup>. A área total de construção é de 373 m<sup>2</sup>, sendo que 245 m<sup>2</sup> correspondem a ampliação, 17 m<sup>2</sup> a alteração e 111 m<sup>2</sup> correspondem a alteração de utilização.

### 4.2.2 Levantamento do existente

Para o desenvolvimento deste caso de estudo era interessante e desejado realizar o levantamento do existente fazendo uso de uma das principais técnicas associadas ao BIM e à reabilitação, o *laser scanning* (LS). Porém, não foi possível porque a empresa não possui os equipamentos e pelo facto destes equipamentos ainda não serem tão acessíveis, perdendo mercado para as técnicas tradicionais de levantamento.

Como referido anteriormente, a modelação em 3D teve início já no decorrer do desenvolvimento do projeto pela forma tradicional. Sendo assim, o levantamento estrutural do existente foi efetuado usando técnicas tradicionais resultando em plantas estruturais, cortes representados em 2D num ficheiro de formato DWG e fotografias em formato digital que ajudam na compreensão dos desenhos.

Os elementos fornecidos pelo NCREP são as plantas estruturais dos 4 pisos, da cobertura e das fundações, apresentados na Figura 4.1 e que correspondem ao projeto de licenciamento. Os elementos foram desenhados com *layers* distintos, em que os elementos novos tinham cores diferentes dos antigos, possibilitando a visualização do que existia no momento do levantamento e do que vai ser construído.

Para além disso, foram disponibilizados cortes longitudinais e transversais do edifício assim como os alçados frontais e laterais que mostram em pormenor a configuração das paredes de frontal.

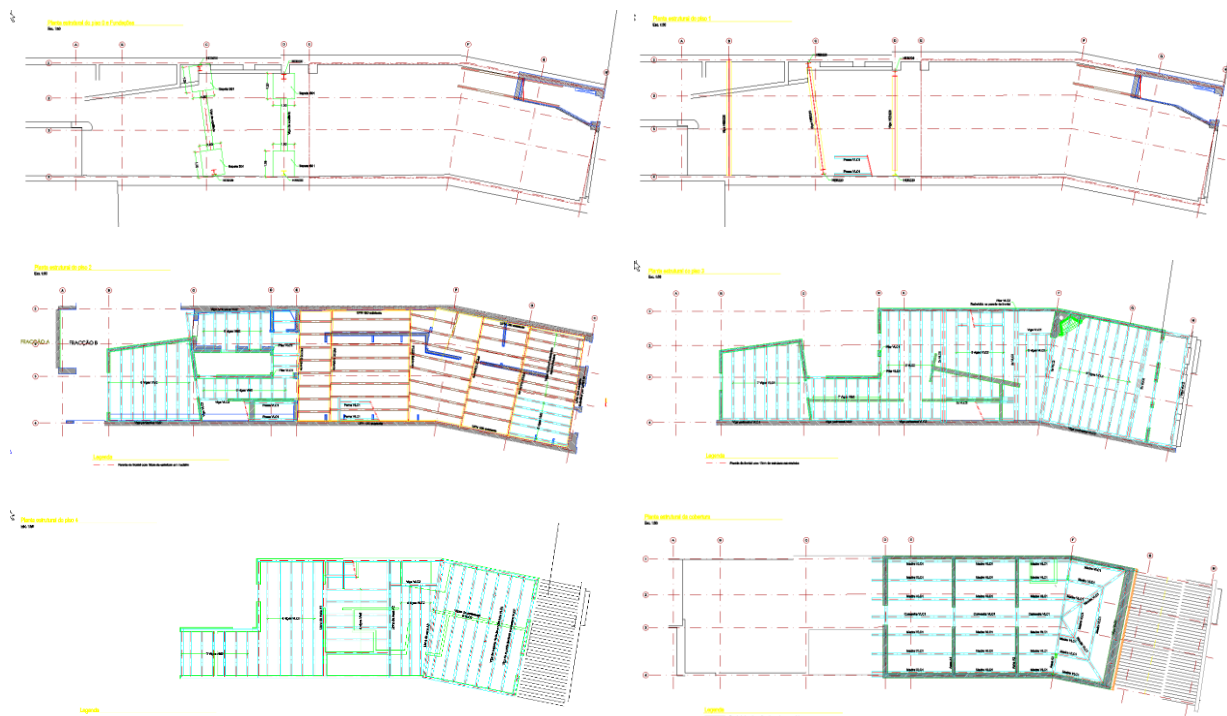


Figura 4.1 - Plantas estruturais disponibilizadas pelo NCREP.

### 4.2.2.1 Importação das plantas em formato DWG

A colaboração é um dos pontos principais para se garantir o sucesso num moderno projeto de construção civil e o BIM é justamente reconhecido por esta cultura de colaboração. O Revit, sendo um *software* BIM possui a capacidade de reconhecer e ler diferentes formatos, visto que num modelo podem trabalhar diversos intervenientes, cada um possuindo um *software* diferente. Na Figura 4.2 são apresentados comandos responsáveis por interligar ou inserir no modelo, ficheiros nos diversos formatos mencionados anteriormente incluindo o formato .rcp correspondente à nuvem de pontos (*Point Cloud*) obtidas através do levantamento por *Laser Scanning*.

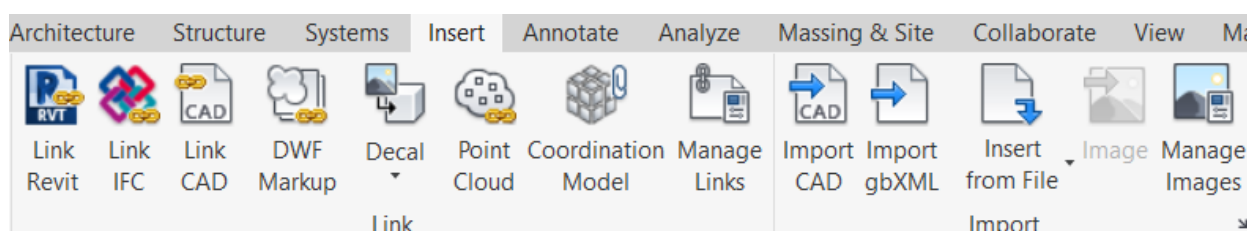


Figura 4.2 - Formatos de ficheiros de origem compatíveis com o *software* Revit.

Como mencionado anteriormente, os desenhos referentes ao levantamento do edifício e ao projeto estrutural foram fornecidos pela empresa NCREP em formato DWG. Para o presente caso de estudo estes desenhos serviram apenas de guias para a modelação no Revit, visto que o *software* é incapaz de gerar um modelo automático do edifício a partir de um conjunto de modelos planos. Contudo, é possível conferir informação sobre os elementos relativamente à sua geometria, classificação ou materiais constituintes, indo ao encontro dos princípios característicos da metodologia BIM.

Assim sendo, para a inserção dos desenhos no modelo do presente caso de estudo foi utilizado o comando *Import CAD*. Na Figura 4.3 é apresentada a caixa de diálogo onde é possível seleccionar o ficheiro (1) e especificar as opções de importação pretendidas (2).

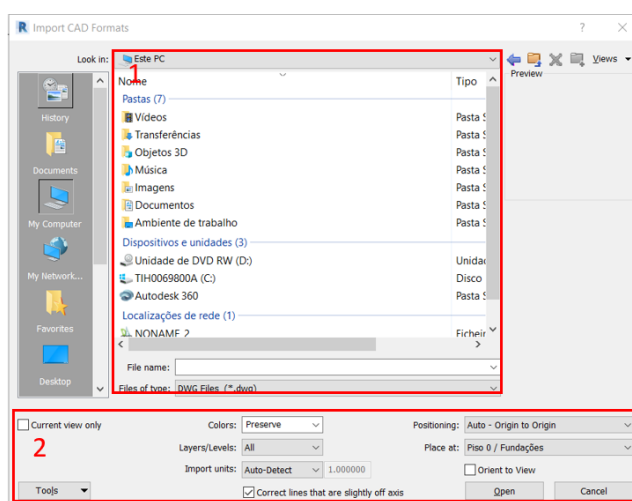


Figura 4.3 - Caixa de diálogo do comando "*Import CAD*".

### 4.2.3 Geração da malha estrutural - “Grids” e definição dos Níveis

Uma boa prática na elaboração de um projeto estrutural passa pela idealização do local de implantação dos elementos estruturais, que resulta na criação de uma malha estrutural.

Após a importação das plantas, a tarefa seguinte foi a criação da malha estrutural - “Grid”. Na plataforma Revit a criação da *Grid* é um processo simples e fácil, tendo de clicar em “Grid” localizado no painel “Datum” do menu “Structure”. Basta criar a *Grid* num único plano (planta estrutural de qualquer piso) para as outras serem automaticamente reproduzidas nos vários pisos do edifício. *Grids* podem ser linhas retas, arcos ou linhas multissegmentadas e podem ser ocultadas depois de serem criadas.

Na modelação deste caso prático a malha estrutural já tinha sido criada nas plantas fornecidas, pelo que o autor só precisou seleccionar as linhas correspondentes aos alinhamentos da malha estrutural. Como é ilustrado na Figura 4.4, a malha concebida foi dividida em alinhamentos na direção transversal (alinhamentos de 1 a 11) e longitudinal (alinhamentos de A a E) do edifício, com exceção do alinhamento B que é inclinado, acompanhando o limite lateral do edifício.

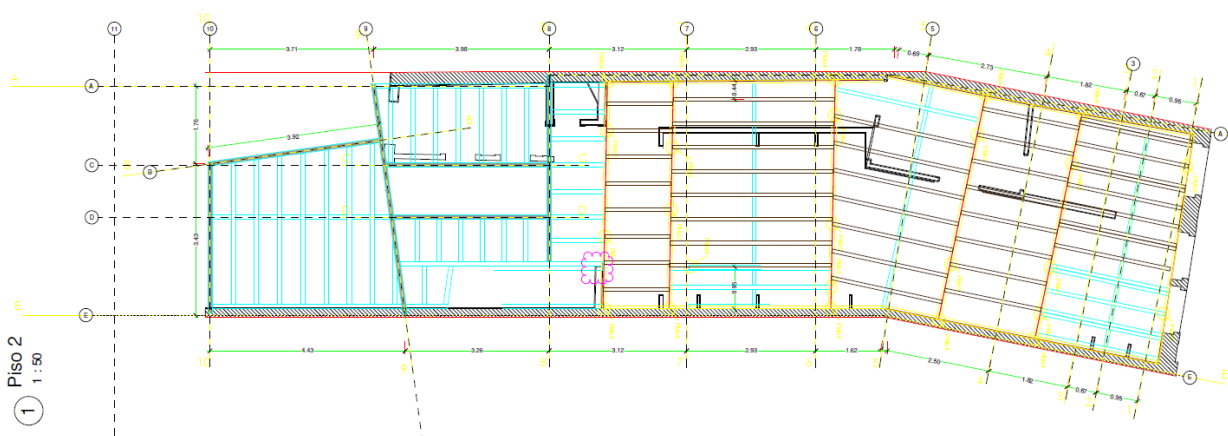


Figura 4.4 - Representação da malha estrutural sobrepondo a planta importada

Na plataforma Revit, a definição dos níveis e das suas cotas corresponde a uma das principais tarefas ligados ao início de um projeto. Um nível está associado a cota de um piso ou a uma cota de referência necessária para a modelação do edifício, como por exemplo o nível “fim alvenaria” observado na Figura 4.5.

Um nível pode ser sempre associado à criação de uma vista de planta e serve de referência para os elementos, ou seja, ao criar qualquer elemento no Revit é necessário definir o nível onde o elemento será hospedado, com exceção dos casos em que os elementos são associados a um plano de trabalho criado para auxiliar a modelação.

Um dos dados retirados dos ficheiros fornecidos corresponde à cota de cada piso, pelo que a abordagem inicial passa pela importação do ficheiro, seguido da definição das cotas dos níveis em concordância com o ficheiro fornecido.

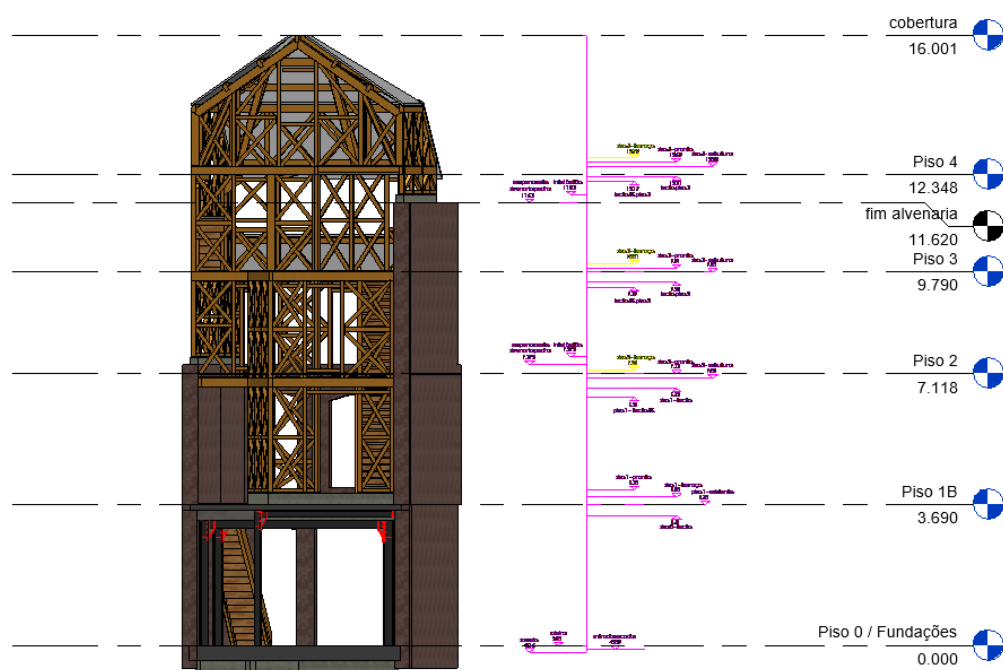


Figura 4.5 - Criação dos níveis na plataforma Revit.

#### 4.2.4 Modelação dos elementos estruturais

Para o desenvolvimento do presente caso de estudo adotou-se a modelação por objetos, conferindo aos objetos informações geométricas, técnicas e de localização espacial que conduzem à construção virtual do edifício.

Todos os elementos modelados no Revit foram criados como membros de famílias. Por exemplo, os elementos estruturais citados anteriormente, assim como as chamadas de detalhe, acessórios, identificadores e componentes de detalhe que são utilizados para documentar, foram criados recorrendo a famílias [9].

Qualquer elemento do modelo é classificado pelo tipo de família a que pertence. Uma família de objetos pertence a uma determinada categoria e pode ser dividida em vários tipos, que podem ser personalizados de forma a alterar e definir duas ou mais dimensões diferentes para uma única família. Na Figura 4.6 é apresentado o exemplo de uma janela de personalização de uma sapata que pode ser aberta clicando no comando “*Edit Type*” na barra de propriedades.

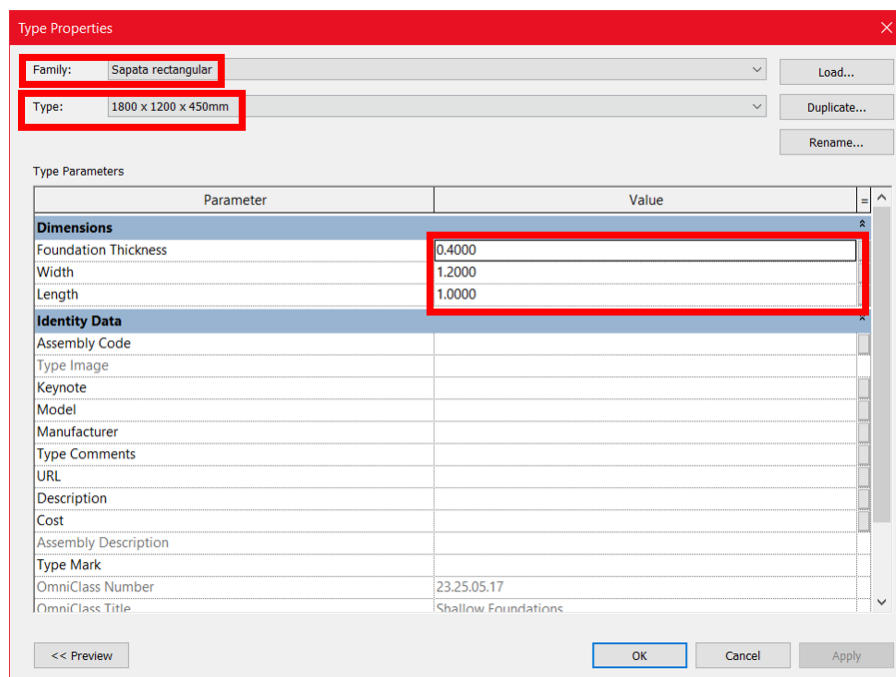


Figura 4.6 - Caixa de diálogo de edição dos tipos de família.

De seguida foi feita a abordagem à modelação geométrica dos principais elementos estruturais como fundações, paredes, pilares, vigas e lajes. É importante salientar que esta abordagem se refere ao modelo geométrico, que não é mais do que a modelação da estrutura física da edificação, utilizado na obtenção de documentação para apoio à obra, a quantificação dos materiais, entre outros dados possíveis de extrair de um modelo BIM. O template estrutural do Revit integra ainda um modelo analítico que será abordado mais à frente no subcapítulo 4.2.9.1.

#### 4.2.4.1 Fundações

O projeto contempla a instalação de 5 sapatas que darão apoio aos pilares de metal que por sua vez suportam as vigas de reforço da laje. Este reforço tem o intuito de agregar resistência à laje que vai resistir às ações provenientes dos pisos a ser construídos (ver Figura 4.7 ).

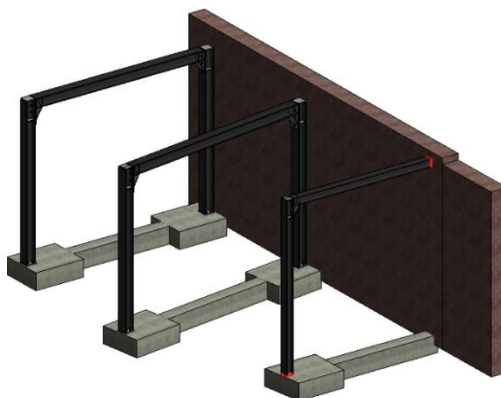


Figura 4.7 - Excerto do modelo BIM, ilustrando as fundações.

Para a modelação destas fundações no Revit, utilizou-se a categoria de fundações isoladas (*isolated foundation*). Foram utilizadas duas famílias de sapatas. Através da biblioteca de objetos que o Revit dispõe, é possível seleccionar diversos tipos-padrão de sapatas isoladas. Contudo, foram usadas as famílias “Sapatas retangular” e “Sapatas trapézio”. Na Tabela 4.1 é possível verificar as propriedades e as dimensões detalhadas dos elementos estruturais da fundação.

Tabela 4.1 - Família e características de fundações utilizadas no modelo estrutural.

Quantidade	Categoria	Família	Dimensões /Tipo	Material
4	<i>Isolated Foundations</i>	Sapata retangular	1800 x 1200 x 450mm	Betão
1	<i>Isolated Foundations</i>	Sapata Trapezoidal	1000 x 1200 x 450mm	Betão

#### 4.2.4.2 Paredes

A estrutura do edifício existente é composta por alvenarias de pedra de que se desconhecem, com rigor, as espessuras e constituição dos materiais. Para a estrutura nova, foram adotadas paredes de madeira em frontal que correspondem à estrutura resistente vertical dos pisos 2 e 3.

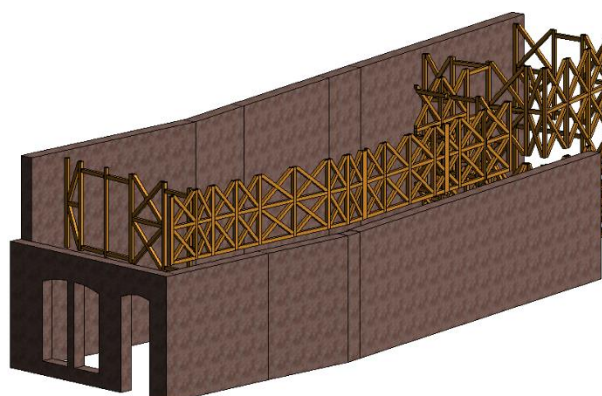
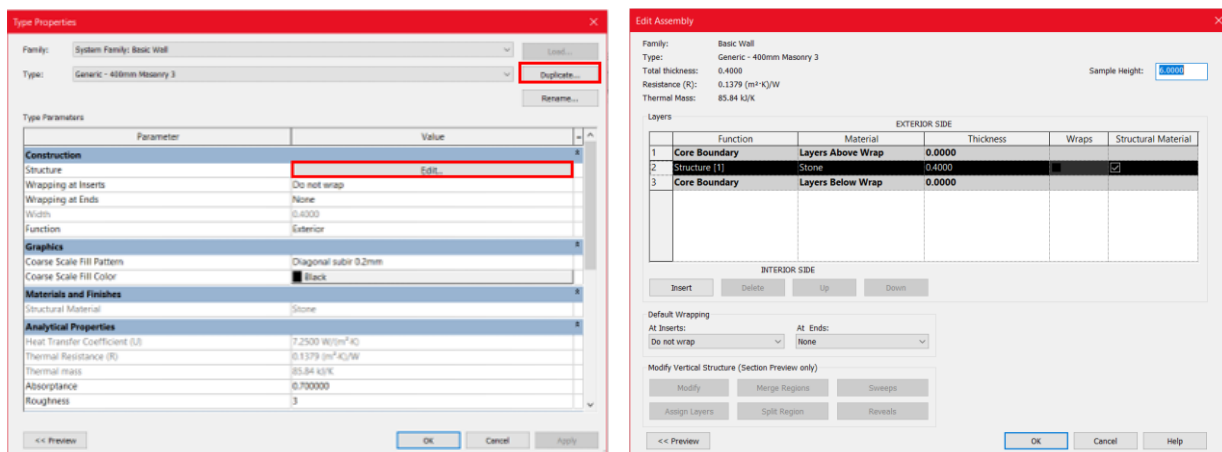


Figura 4.8 - Excerto do modelo BIM, ilustrando as paredes estruturais.

Para a modelação no Revit utilizou-se a categoria de paredes estruturais (*Structural Wall*). Para as paredes de alvenaria foi utilizada a família de paredes básicas (*Basic Wall*) do tipo genérico (*Generic- 400mm Mansory*), com medidas aproximadas adotadas, visto que se desconhecem as espessuras e as suas constituições (ver Figura 4.8). A família de paredes básicas já vem instalada no Revit, podendo-se utilizar o tipo existente no Revit ou criar, a partir deste, novos tipos de paredes de acordo com as novas espessuras e tipos de materiais constituintes (ver Figura 4.9).



a) Caixa de diálogo principal

b) Definição das camadas e materiais

Figura 4.9 - Exemplo de edição de uma parede estrutural no Revit.

Levando em consideração a configuração bastante variável das paredes em frontal, não foi possível utilizar nem criar uma família de paredes que as representassem. Optou-se pela modelação através do comando “*Component (Model in-Place)*” capaz de criar um elemento que é único no modelo, utilizando ferramentas de editor de família nomeadamente o “*Sweep*”. Esta solução mostrou ser muito eficaz, porém bastante morosa em comparação com a modelação das paredes básicas.

#### 4.2.4.3 Pilares

De acordo com o projeto, serão inseridos 5 pilares metálicos para reforçar a estrutura existente. Além disso serão inseridos pilares de madeira embutidos nas paredes novas em frontal.

Pilar Metálico  
HE220B



Pilar de Madeira  
VLC1



Figura 4.10 - Pilares utilizados no modelo BIM.

No revit, os pilares estruturais foram modelados através do comando “*Column*”, utilizando famílias da biblioteca do Revit que pertencem à categoria “*Structural Columns*” (ver Figura 4.10). Foram utilizadas duas famílias de pilares estruturais apresentadas na Tabela 4.2:



Tabela 4.2 – Família e características de pilares utilizadas no modelo estrutural.

Categoria	Família	Tipo (Dimensões)	Material
<i>Structural Columns</i>	Pilar metálico	HE180A	Metal
		HE220B	Metal
<i>Structural Columns</i>	Pilar de madeira	VLC1 (0.10x0.20cm)	Madeira

#### 4.2.4.4 Vigas

O projeto estrutural do presente caso de estudo abrange vários tipos de vigas, desde as vigas de madeira existentes, vigas metálicas, vigas de betão e novas vigas de madeira que substituem as vigas danificadas ou que realizam os novos pisos de madeira.

As vigas são modeladas no Revit através do comando “*Beam*” presente no menu “*Structure*”. As famílias utilizadas pertencem à categoria “*Structural Framing*” e estão apresentadas na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Família de vigas utilizadas no modelo estrutural.

Categoria	Família	Material
<i>Structural framing</i>	Viga retangular de betão	Betão
<i>Structural framing</i>	Viga trapezoidal de madeira maciça	Madeira
<i>Structural framing</i>	Viga retangular de madeira maciça	Madeira
<i>Structural framing</i>	Vigas retangular de madeira lamelada colada	Madeira
<i>Structural framing</i>	Vigas Metálicas secção I	Metal
<i>Structural framing</i>	Vigas Metálicas secção H	Metal

Assim como nos restantes elementos estruturais descritos acima, cada família de vigas foi dividida em vários tipos, representando as diversas secções de vigas presentes no edifício.

Os pavimentos de madeira foram modelados no Revit através do comando “*Beam System*”, em que o utilizador define qual é a secção das vigas, através dos tipos de famílias criados anteriormente e define o espaçamento entre as vigas ou número de vigas para um determinado limite (*Boundary*) e numa certa orientação.

#### 4.2.4.5 Lajes de betão armado

Os pavimentos do edifício alvo de estudo são concretizados maioritariamente por pavimentos de madeira, sendo uma parte do pavimento do piso 1 concretizada em betão armado. Além disto, presumiu-se que o pavimento do rés-do-chão é de betão.

A modelação das lajes no Revit foi feita através do comando “*Floor: Structural*” localizado no menu “*Structure*”; os seus limites foram definidos selecionando as paredes ou usando ferramentas de desenho livre. No presente caso de estudo, optou-se por uma laje genérica em que o objeto só tem a função de representar um pavimento de betão com uma determinada espessura, não lhe conferindo as características estruturais como o tipo de material específico e/ou sua resistência. Porém, no Revit é possível representar a laje como um elemento estrutural, com características próprias da sua função, facilitando posteriormente uma possível transferência para um *software* de cálculo.

Um outro aspeto a salientar é o revestimento das lajes, que no Revit 2018 pode ser levado em consideração ao criar um determinado tipo de família de laje estrutural, adicionando uma camada que corresponde ao respetivo revestimento.

### 4.2.5 O existente, elementos a demolir e elementos a construir

#### 4.2.5.1 Faseamento

A metodologia BIM é reconhecida pela capacidade de criar, armazenar e gerir informações de uma construção ao longo de todas as fases do seu ciclo de vida. Um dos pontos mais importantes num projeto de reabilitação é a sua divisão por fases, onde são definidos os elementos que existiam no passado, os elementos que irão ser demolidos e os elementos que irão ser construídos numa fase nova. O Revit possui esta funcionalidade que permite gerir as fases e os filtros de fase em seu projeto e pode ser acedido da forma indicada na Figura 4.11.

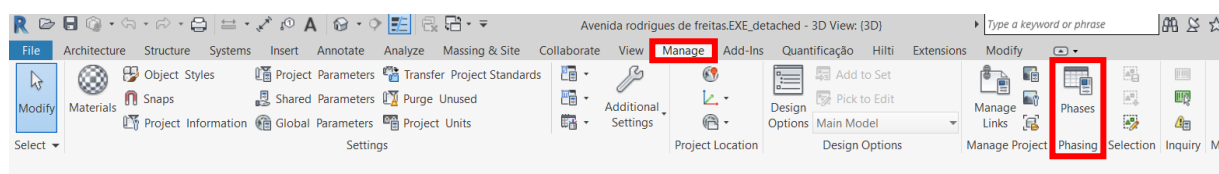


Figura 4.11 - Localização da ferramenta *Phases* no Revit.

Abre-se a caixa de diálogo ilustrada na Figura 4.12 e para além das fases predefinidas pelo *software*, é possível criar fases e definir os elementos que aparecem ou deixam de aparecer em cada fase. Por exemplo numa fase inicial do projeto, é necessário representar todos os elementos do levantamento do existente. Para o caso presente de estudo definiram-se duas fases de projeto tal como se encontra ilustrado na Figura 4.12.

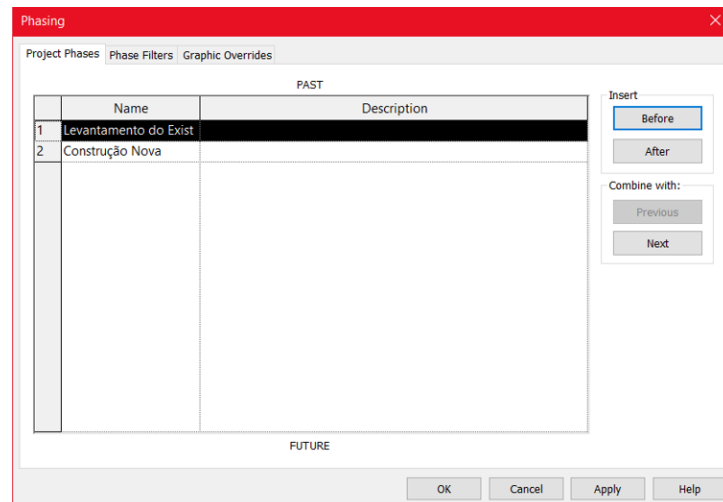


Figura 4.12 - Caixa de diálogo da ferramenta *Phases* (Separador *Project Phases*).

Num projeto de reabilitação torna-se mais útil ter as várias fases do projeto representadas nas respetivas vistas (planas ou em 3D). Para além de ser útil, facilita a criação das folhas (*Sheets*), por exemplo no caso de ser necessário representar “o antes” e “o depois” da intervenção. Para este efeito, é necessário duplicar as vistas e na barra das propriedades definir a respetiva fase.

O Revit permite organizar o navegador de projeto (*Project Browser*) de acordo com as disciplinas, fases ou qualquer outro parâmetro. Para este caso de estudo o esquema de navegador escolhido foi o ilustrado na Figura 4.13, em que as vistas se encontram agrupadas pelas fases a que pertencem.

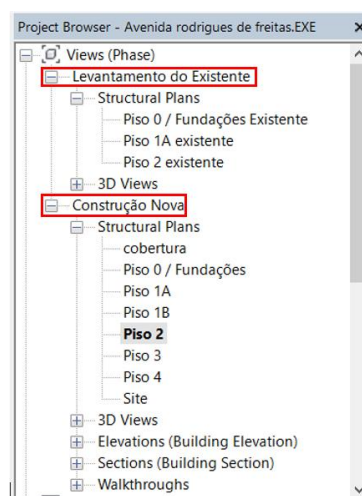
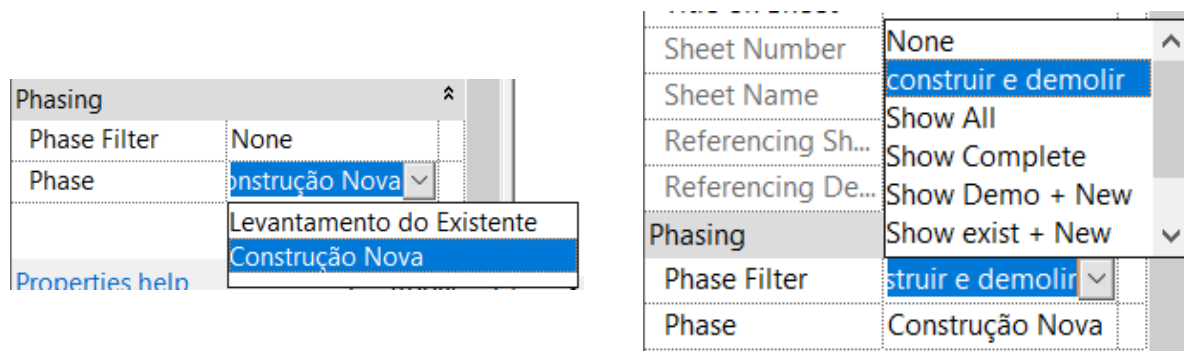


Figura 4.13 - *Project Browser* utilizado no Revit.

Para cada vista, na barra de propriedades, é necessário definir a propriedade “Phase” (fase) para indicar a fase do projeto à qual a vista corresponde e definir a propriedade “Phase Filter” (filtro de fase) para controlar a exibição de elementos pretendida para cada vista (ver Figura 4.14). Definidas estas propriedades, é necessário especificar a propriedade “Phase” (fase) para cada elemento, caso este tenha sido criado numa vista de fase diferente.



a) Fase

b) Filtro de fase

Figura 4.14 - Definição da fase e do filtro de fase de uma vista.

#### 4.2.5.2 Filtro das fases (*Phase Filter*)

A propriedade *Phase filter* controla a exibição dos elementos em cada vista, ou seja, define que elemento o utilizador pretende que apareça ou não numa vista. O Revit classifica os elementos quanto à fase, como “New” (novo), “Existing” (existente), “Demolished” (demolido) e o “Temporary” (temporário).

No separador *Phase Filters* da caixa de diálogo que gere as fases do projeto, apresentada na Figura 4.15, é possível determinar que elementos serão visíveis com base na fase do projeto e como esses elementos aparecerão. O utilizador atribui um nome ao Filtro de Fase e em seguida escolhe entre três opções em cada fase: “*by category*” (os elementos são apresentados com a aparência normal da categoria), “*Overriden*” (os elementos são visualizados com a aparência configurada) ou “*Not displayed*” (os elementos não aparecem). O utilizador tem a liberdade de criar quantos filtros de fase diferentes quiser para mostrar diferentes elementos em diferentes modos de exibição.

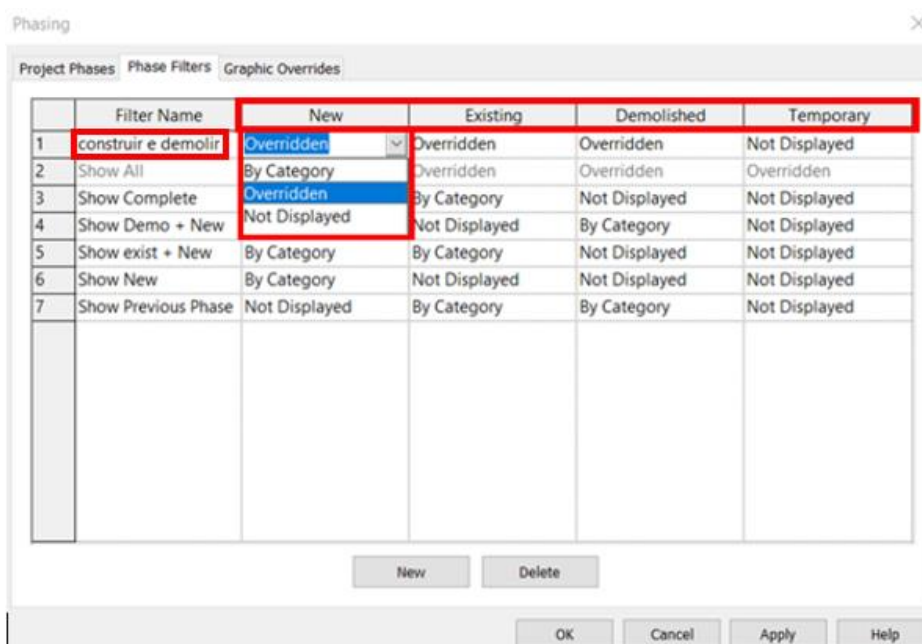


Figura 4.15 - Caixa de diálogo da ferramenta *Phases* (Separador *Phase Filters*).

Por exemplo, para representar somente o que será construído de novo, o utilizador terá de escolher a opção “*Show New*” para *Phase Filter* na barra de propriedades. Assim terá a representação somente dos elementos a construir, ocultando os restantes elementos na vista aberta no Revit.

No caso de um projeto de reabilitação, normalmente são utilizadas plantas de “vermelhos e amarelos” de forma a representar quais os trabalhos a construir e a demolir, respetivamente. Neste sentido, foi criado um filtro “construir e demolir”, como pode ser observado na Figura 4.15 e que está configurado para sobrepor os elementos de todas as fases exceto o temporário.

Segundo a Portaria 113/2015 de 22 de abril de 2015 no Anexo II:

“Sempre que a operação urbanística a apreciar compreenda alterações ou demolições parciais e/ ou afetar a via pública, devem ser utilizadas para a sua representação as seguintes cores convencionais:

1. A vermelha para os elementos a construir;
2. A amarela para os elementos a demolir;
3. A preta para os elementos a manter;
4. A azul para elementos a legalizar. “

Como referido anteriormente, é possível configurar para cada fase a aparência desejada numa determinada vista quando se escolhe a opção “*Overriven*” no separador “*Phase Filters*”. Como se pode ver na Figura 4.16, com base na convenção de cores referida acima, procedeu-se à configuração da aparência de cada elemento, de acordo com a sua fase no projeto [35].

Phasing						
Project Phases		Phase Filters		Graphic Overrides		
Phase Status	Projection/Surface		Cut		Halftone	Material
	Lines	Patterns	Lines	Patterns		
Existing					<input type="checkbox"/>	Phase - Exist
Demolished					<input type="checkbox"/>	Phase - Demo
New					<input type="checkbox"/>	Phase - New
Temporary					<input type="checkbox"/>	Phase - Temporary

Figura 4.16 - Configuração das cores de acordo com a convenção adotada.

De seguida, é apresentado na Figura 4.17 a vista do segundo piso do edifício no Revit em que o filtro de fase selecionado é o “construir e demolir”, ou seja, é possível visualizar os elementos existentes, os elementos a demolir e os novos elementos numa vista caracterizados com as respetivas cores.

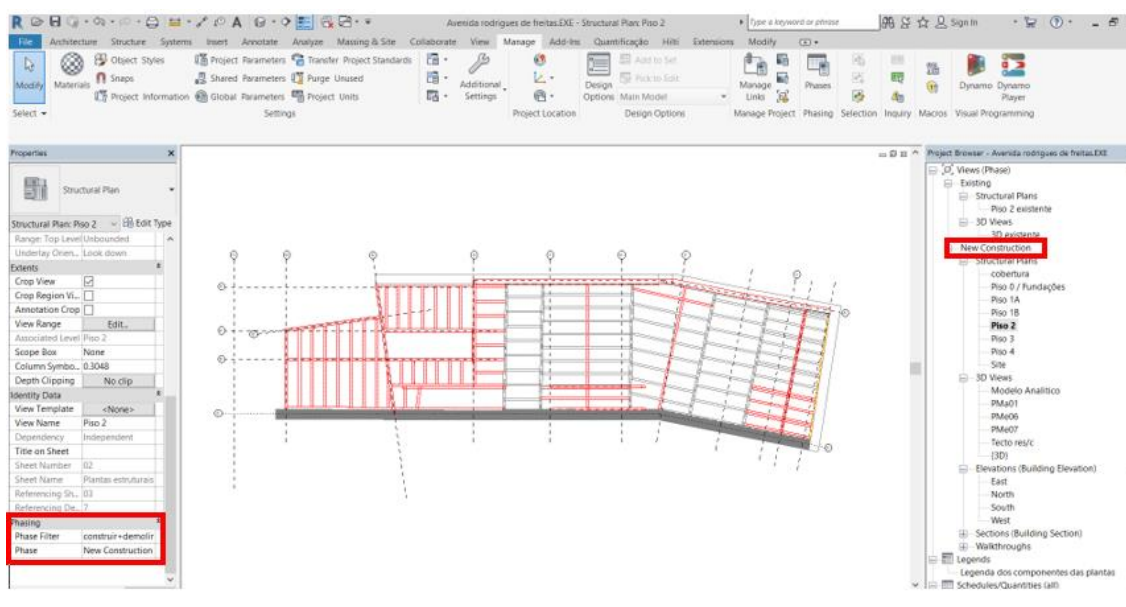


Figura 4.17 - Vista do 2º piso ilustrando os elementos existentes, a demolir e a construir

Uma vez que todos os elementos foram criados e demolidos nas respetivas fases, os filtros das fases definidas corretamente e as vistas criadas para todas as fases desejadas, é possível com um simples clique aceder às mais diversas opções de visualizações do edifício (ver figuras seguintes).

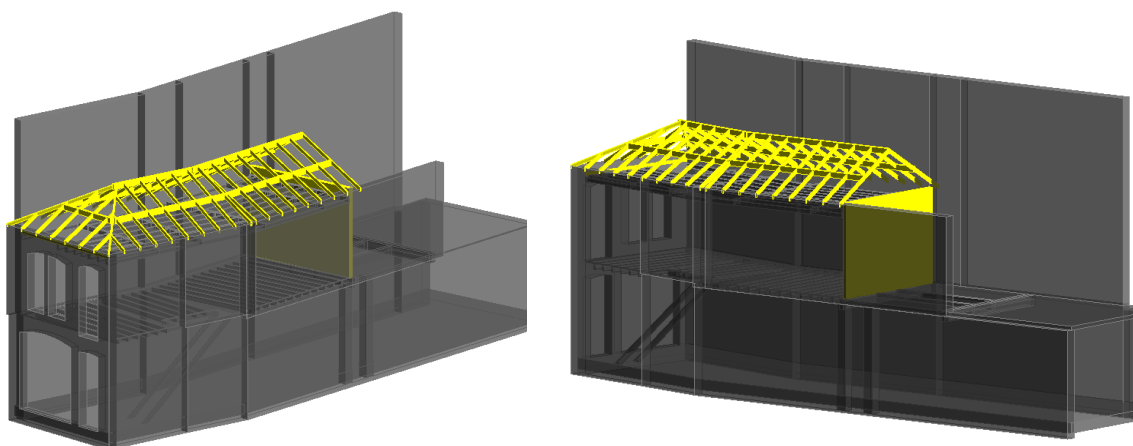


Figura 4.18 - Elementos existentes e elementos a demolir.

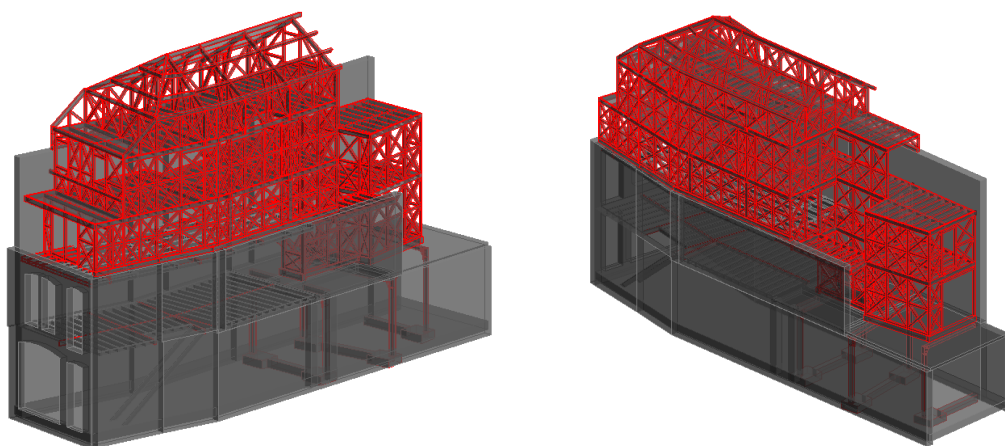


Figura 4.19 - Elementos existentes e elementos a contruir.

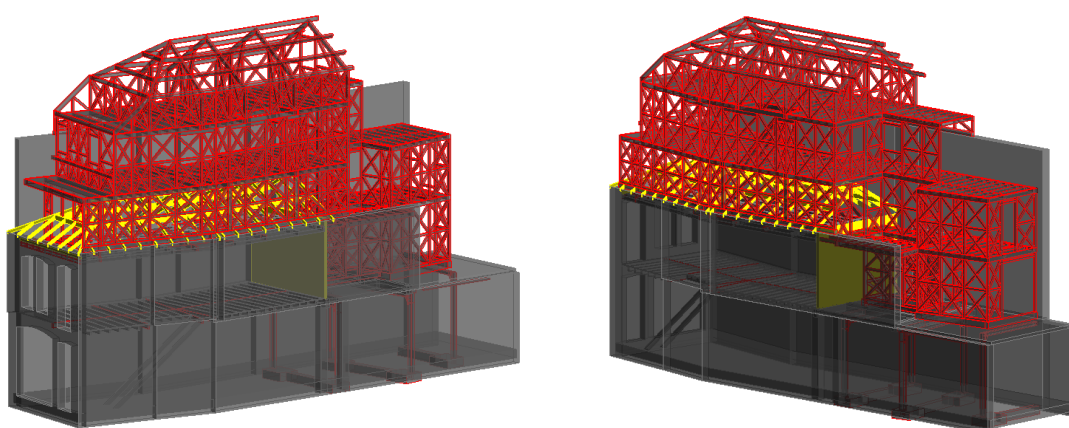


Figura 4.20 - Sobreposição dos elementos existentes, elementos a contruir e a demolir (“Vermelhos e amarelos”).




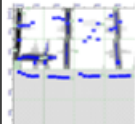





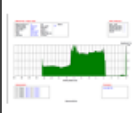
#### 4.2.6 Danos e anomalias associadas aos elementos

A metodologia BIM é reconhecida, em parte, pela capacidade de armazenamento de todas as informações do edifício num único ficheiro. Quando se trata de um projeto de reabilitação de edifícios, é importante identificar e acrescentar ao modelo, as anomalias observadas durante a fase de inspeção e diagnóstico do existente.

O Revit possui a funcionalidade de adicionar novos parâmetros associados aos elementos do modelo, que permitem enriquecer o modelo ou os elementos em si, com todas as informações que sejam relevantes para o projeto. Foram criados os parâmetros “Ensaio”, “Principais Danos” e “Imagem ensaio” que permitem identificar os danos observados no elemento, os ensaios efetuados e a imagem dos resultados obtidos dos ensaios.

Na Tabela 4.4 é apresentado o exemplo de um levantamento feito no Revit, em que foram agrupadas todas as vigas em betão armado a ser mantidas, em função da família e o tipo, identificando a anomalia observada juntamente com a imagem da viga, o ensaio realizado e o resultado obtido.

Tabela 4.4 – Identificação e ilustração das principais anomalias e ensaios realizados

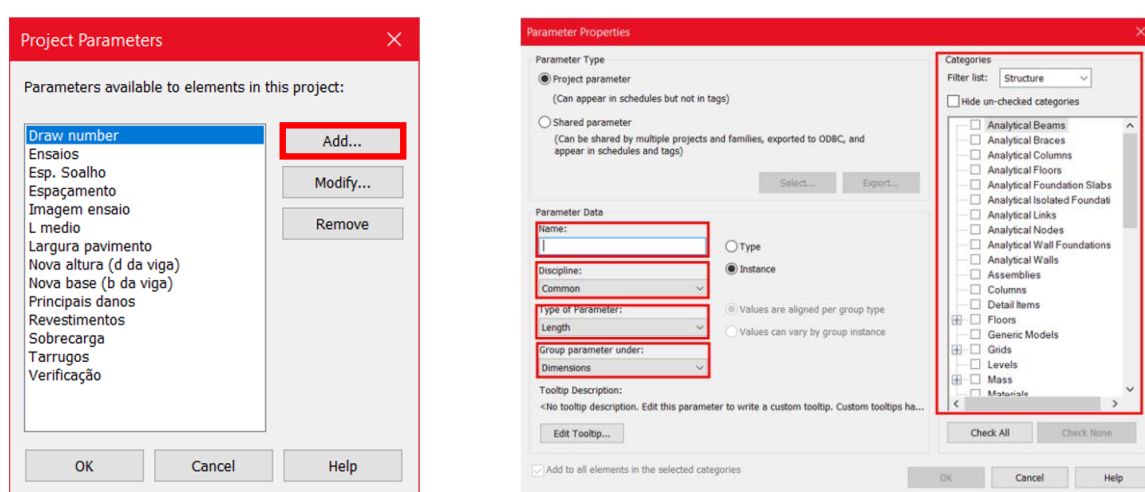
Vigas a ser mantidas				
Família e tipo	Principais danos	Imagem	Ensaio	Imagem ensaio
Viga rectangular de betão: 160 x 400 mm	corrosão de armadura		FS-01	
Viga rectangular de betão: 160 x 400 mm	Delaminação e corrosão de armadura			
Viga rectangular de betão: 160 x 400 mm: 2				
Viga rectangular de betão: 180 x 400mm	Delaminação e corrosão de armadura			
Viga rectangular de betão: 180 x 400mm	Delaminação e corrosão de armadura			
Viga rectangular de betão: 180 x 400mm: 2				
Viga rectangular de betão: 200 x 400mm	Delaminação e corrosão de armadura			
Viga rectangular de betão: 200 x 400mm: 1				
Vigas de madeira maciça rectangular: viga existente 8X22 cm2	Fungos		ER-02	
Vigas de madeira maciça rectangular: viga existente 8X22 cm2: 1				



#### 4.2.6.1 Criação de novos parâmetros do projeto

Os parâmetros do projeto são armazenadores de informações que são definidos e associados a uma ou várias categorias de elementos de um projeto. São utilizados para auxiliar na criação de tabelas, na classificação e na filtragem de determinados elementos de um projeto [9].

Foram adicionados novos parâmetros ao projeto do presente caso de estudo através da caixa de diálogo apresentada na Figura 4.21 a), que pode ser acedida através da opção *Project Parameters* presente no painel *Settings* do menu *Manage*. Clicando em “Add” abre-se uma nova janela onde é possível especificar algumas opções como o nome, a disciplina, o tipo de parâmetro, o grupo e as categorias associadas como podemos observar na Figura 4.21 b).



a) Caixa de diálogo principal

b) Opções a definir na criação de parâmetros

Figura 4.21 - Criação de novos parâmetros de projeto no Revit.

Para além dos parâmetros adicionados para a identificação dos danos, foram adicionados mais parâmetros que serviram para extrair informações de elementos de madeira utilizados nas rotinas de automatização de dimensionamento de pavimentos de madeira descritos mais adiante no capítulo 5.

#### 4.2.7 Produção automática de plantas, cortes e alçados

Assim como a maioria dos *softwares* BIM, o Revit permite a produção automática das vistas que seriam desenhadas manualmente nos processos convencionais de elaboração de um projeto.

Esta funcionalidade proporciona uma rápida visualização de plantas, alçados e cortes, com a possibilidade de efetuar alterações em qualquer uma das vistas de forma fácil e automática. Qualquer alteração em qualquer vista é propagada de forma automática em todas as vistas relacionadas com a mesma, de modo a manter os desenhos totalmente coordenados.

#### 4.2.7.1 Plantas

As vistas em planta do edifício são criadas automaticamente no modelo, de acordo com o número de “Níveis” criados, podendo ser duplicadas ou copiadas as vezes que se pretender, de forma a ser usadas na criação e configuração das folhas de impressão. Estas vistas podem ser plantas de piso e plantas estruturais.

Duplicando estas vistas de plantas foi possível criar vistas já preparadas para a folha de impressão ou então vistas correspondentes ao modelo analítico.

##### View Range

Cada vista de planta do modelo possui uma propriedade designada por *View Range*, que se traduz por faixa de vista ou faixa visível. Os planos horizontais que definem a faixa da vista são: Topo, Plano de corte e Base (ver Figura 4.22).

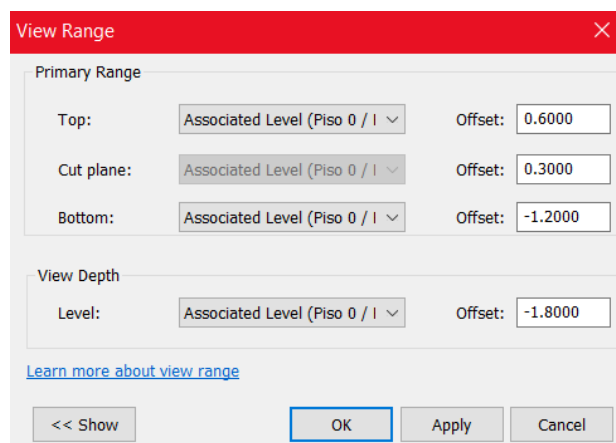


Figura 4.22 - Caixa de diálogo da propriedade *View Range*.

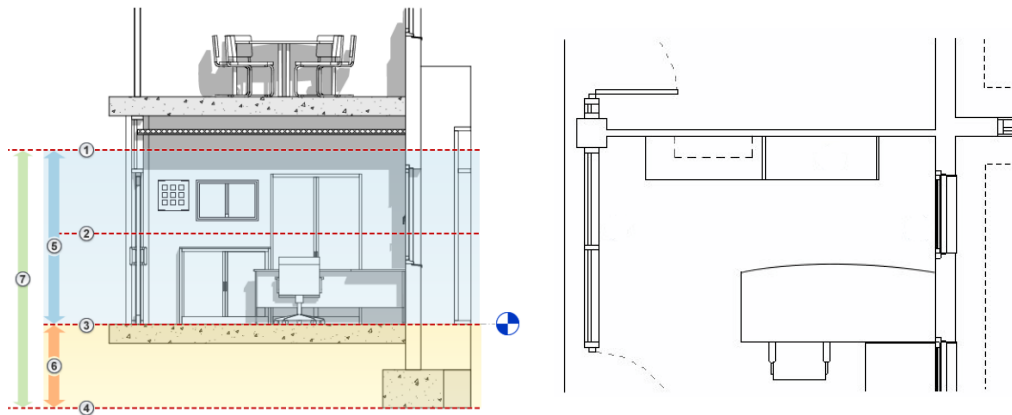
Os planos superior e inferior representam a parte mais alta e mais baixa da faixa visível na planta. O plano de corte é um plano que determina a que altura, determinados elementos na vista exibida são cortados. Estes três planos definem a faixa principal da faixa de vista.

A vista da planta apresentada na Figura 4.23 b) exhibe o resultado para esta faixa da vista e a lista apresentada de seguida corresponde à legenda do esquema da Figura 4.23 a):

1. Topo
2. Plano de corte
3. Base
4. Deslocamento (da base)
5. Faixa principal

6. Profundidade da vista

7. Faixa da vista



a) Vista em Corte

b) Vista em planta

Figura 4.23 - - Esquema de configuração da View Range [9].

#### 4.2.7.2 Alçados

Por defeito, sempre que é aberto um projeto novo a partir de um determinado *template* de trabalho (Exemplo: Template NCREP AP) os símbolos dos quatro principais alçados (*North*, *South*, *East* e *West*) que delimitam o edifício são gerados e ficam logo disponíveis no *Project Browser* (ver Figura 4.24).

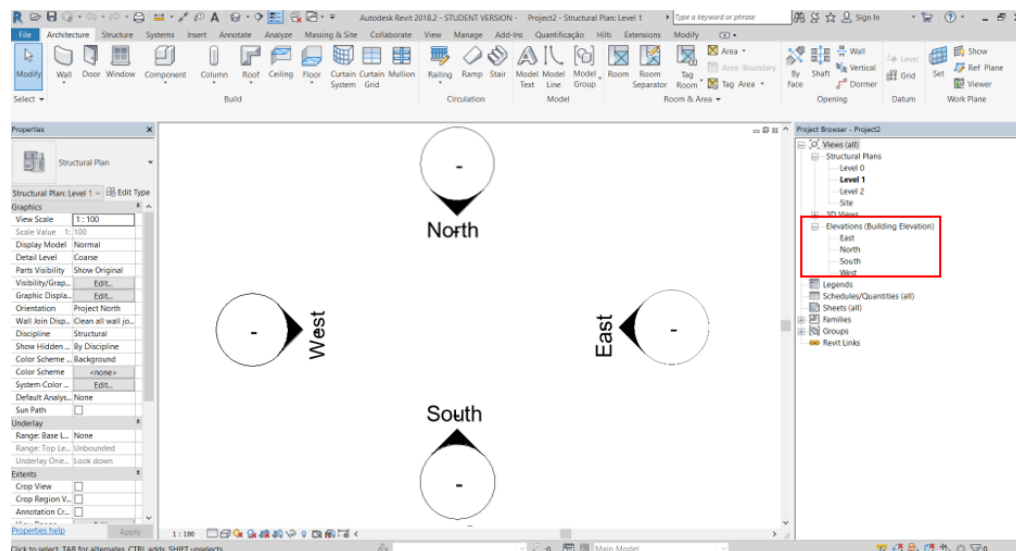


Figura 4.24 - Vista de piso de um novo projeto do Template NCREP AP.

Portanto, para a visualização de qualquer alçado do modelo é necessário apenas clicar na vista correspondente no Project Browser ou então clicar num dos símbolos mencionados. A sua representação permite visualizar os alinhamentos correspondentes aos *Níveis* ou andares do modelo.

### 4.2.7.3 Cortes

Na plataforma Revit, os cortes representando as secções transversais ou longitudinais do edifício são criados de forma fácil e rápida, através do comando *Section* presente na guia *View*. Desenhando a linha onde se pretende efetuar o corte, cria-se automaticamente uma vista com o desenho detalhado e integral dos vários elementos abrangidos. Estes elementos são definidos arrastando as linhas paralelas e perpendiculares à linha de corte, representado na Figura 4.25.

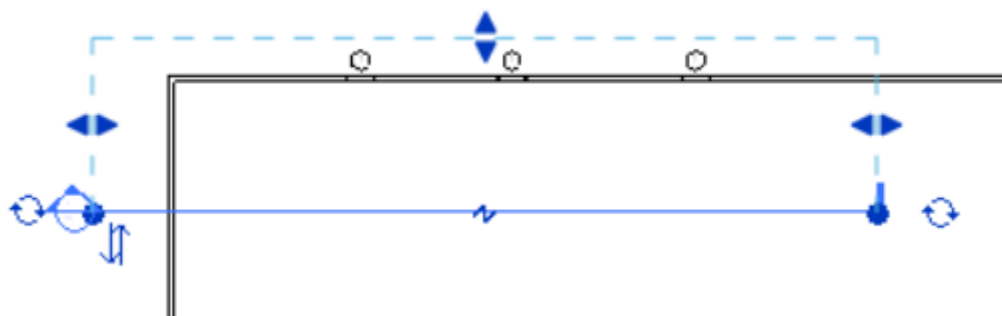


Figura 4.25 - Exemplo de aplicação do comando “Section”.

### 4.2.8 Criação e configuração de Sheets

De forma a ser possível extrair desenhos do modelo o Revit possui um processo simples e rápido de impressão e preenchimento dos rótulos. Porém, este processo carece de alguns trabalhos prévios de criação e configuração das folhas (*Sheets*).

O Revit disponibiliza famílias de folhas-padrão de impressão que podem ser utilizadas para extração dos desenhos, porém elas servem na maioria das vezes como base para a criação de novas folhas com as respetivas normas do projetista ou do seu escritório. Também é possível criar estas folhas a partir do zero, sendo possível definir os tamanhos das folhas, as espessuras das linhas da esquadria e até mesmo o formato e dados dos cabeçalhos das folhas.

Para o presente caso de estudo, os cabeçalhos foram adaptados a partir do cabeçalho da família de folhas original do Revit, podendo definir o formato e criar campos de preenchimento de acordo com as normas do NCREP (ver Figura 4.26).


OBRA Project Address		DATA 01 January, 2000		FASE DO PROJECTO Project Status	
DESIGNAÇÃO Sheet Name		PROCESSO Project Number	ESCALA 1 : 100	DESENHO Nº A101	REV. Nº
PROJECTOU DSG	DESENHOU DRW	APROVOU APR	VERIFICOU CHK	<div>CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO E PATRIMÓNIO</div> <div> EP</div>	
Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.					

Figura 4.26 - *Template* do cabeçalho utilizado (modelado no Revit)

No rótulo das folhas existem campos de preenchimento que são comuns em todas as folhas do projeto, como por exemplo o dono da obra [Figura 4.27 a)] e campos que diferem de folha para folha como o número do desenho e a sua designação [Figura 4.27 b)].

Project Information

Family: System Family: Project Information Load...

Type: Edit Type...

Instance Parameters - Control selected or to-be-created instance

Parameter	Value
<b>Identity Data</b>	
Organization Name	
Organization Description	
Building Name	
Author	
<b>Energy Analysis</b>	
Energy Settings	Edit...
<b>Other</b>	
Project Issue Date	03/2018
Project Status	EXE
Client Name	Owner
Project Address	Edifício de habitação unifamiliar
Project Name	3D - Execução
Project Number	NCREP_123456

a) Informações do projeto

Identity Data	
Dependency	Independent
Referencing S...	
Referencing D...	
Current Revisi...	<input type="checkbox"/>
Current Revisi...	
Current Revisi...	
Current Revisi...	
Current Revision	
Approved By	AAC
Designed By	AJP
Checked By	AAC
Drawn By	AJP
Sheet Number	03
Sheet Name	Alçados de par...
Sheet Issue Da...	03/16/18
Appears In Sh...	<input checked="" type="checkbox"/>
Revisions on S...	Edit...

b) Propriedades das folhas

Figura 4.27 - Parâmetros do projeto que preenchem os campos do cabeçalho.

Por último, antes de imprimir a folha ou guardá-la em PDF, foi necessário escolher as vistas a serem impressas e inseri-las nas folhas de forma fácil e rápida, bastando um clique na vista e arrastá-la para dentro da folha. No Anexo V são apresentadas as folhas obtidas, correspondendo às plantas estruturais, cortes, alçados e desenhos dos pormenores.

#### 4.2.9 Exportação para *software* de cálculo automático

Para efetuar uma análise estrutural adequada ao correto dimensionamento de um projeto de estruturas, o template estrutural do Revit 2018 integra, para além do modelo geométrico, o modelo analítico com componentes estruturais que facilitam a leitura e interpretação numa possível exportação para um *software* de cálculo.

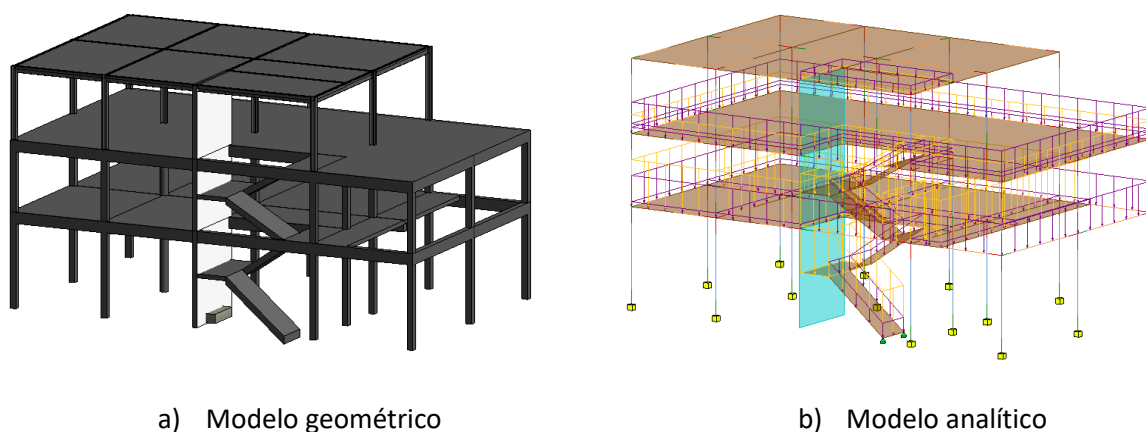
No contexto BIM a exportação ou a interligação do modelo BIM com o software de cálculo constitui uma tarefa de elevada relevância. Geralmente a modelação é realizada no software BIM e a análise e dimensionamento num *software* de cálculo, repercutindo no modelo BIM possíveis alterações ao projeto, tudo isto num processo contínuo até se obter o projeto de estruturas final. Para que este processo seja realizado eficientemente é necessário que o *software* de cálculo consiga ler e interpretar o modelo de estruturas do BIM, sendo isto apenas possível, como já referido anteriormente, através do modelo analítico.

#### 4.2.9.1 Modelo analítico

Um modelo analítico é uma representação 3D simplificada da descrição completa da engenharia de um modelo físico estrutural [9]. O modelo analítico consiste nas componentes estruturais, suas geometrias, propriedades do material, graus de liberdade existentes nas ligações entre elementos e nos apoios da estrutura, cargas e combinações que juntos formam um sistema estrutural elegível a ser exportado para um *software* de cálculo.

Este modelo foi criado em paralelo com o modelo geométrico sendo inicialmente dependente deste. Devido a associatividade bidirecional entre eles, as alterações efetuadas posteriormente serão refletidas no modelo geométrico. Dentro do modelo analítico é possível fazer alterações como a localização dos elementos, verificando a ligação entre eles e os graus de liberdades associados.

Na Figura 4.28 é apresentado um pequeno projeto estrutural, onde são visíveis o modelo geométrico e o correspondente modelo analítico.



a) Modelo geométrico

b) Modelo analítico

Figura 4.28 - Representação de um projeto estrutural no *software* Revit.

O modelo analítico de um edifício contém definições que controlam todo o seu comportamento. Portanto, deve haver uma preocupação na precisão de ambos os modelos para que o modelo geométrico retrate com precisão a estrutura pretendida e do mesmo modo, o modelo analítico traduza o comportamento estrutural mais próximo do real.

Pequenas imprecisões na ligação de elementos do modelo geométrico podem implicar a ocorrência de erros no processo de cálculo estrutural. O Revit possui uma funcionalidade designada por *consistency check* que permite verificar automaticamente se determinado elemento não está corretamente ligado ao seu apoio.

#### 4.2.9.2 Interligação entre o Revit 2018 e o Robot Structural Analysis 2018

Uma vez que o Revit e o Robot Structural Analysis são *softwares* pertencentes à mesma empresa, a Autodesk, a transferência de modelos de um *software* para o outro torna-se facilitada através de um formato de troca proprietário.

A interligação é realizada através de uma ferramenta incorporada no Revit localizada no menu *Analysis*, painel *Structural Analysis*. Esta ferramenta permite enviar dados para o *software* de cálculo, assim como atualizar o modelo do Revit a partir do dimensionamento realizado no *software* de cálculo. A troca de dados pode ser realizada de forma direta quando os dois *softwares* se encontram corretamente instalados no mesmo computador, ou através de um ficheiro intermediário em caso contrário. Na Figura 4.29 encontra-se apresentada a caixa de diálogo da ferramenta de ligação entre os dois *softwares*, onde é possível especificar opções adicionais de envio.

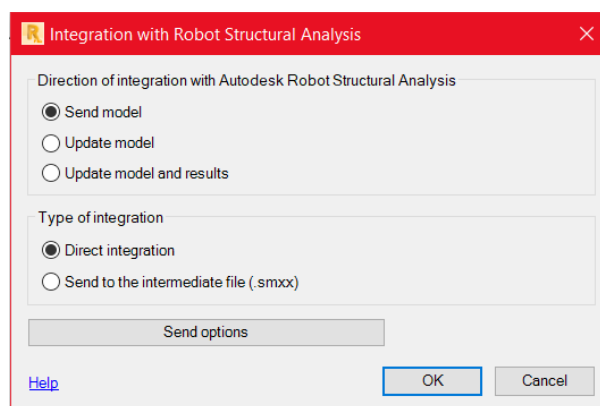


Figura 4.29 - Caixa de diálogo da interligação Revit-Robot.

Para efeito de teste, foi utilizado um projeto estrutural de um edifício, apresentado na Figura 4.30, com estrutura mista de betão armado e aço, previamente modelada no Robot Structural Analysis.

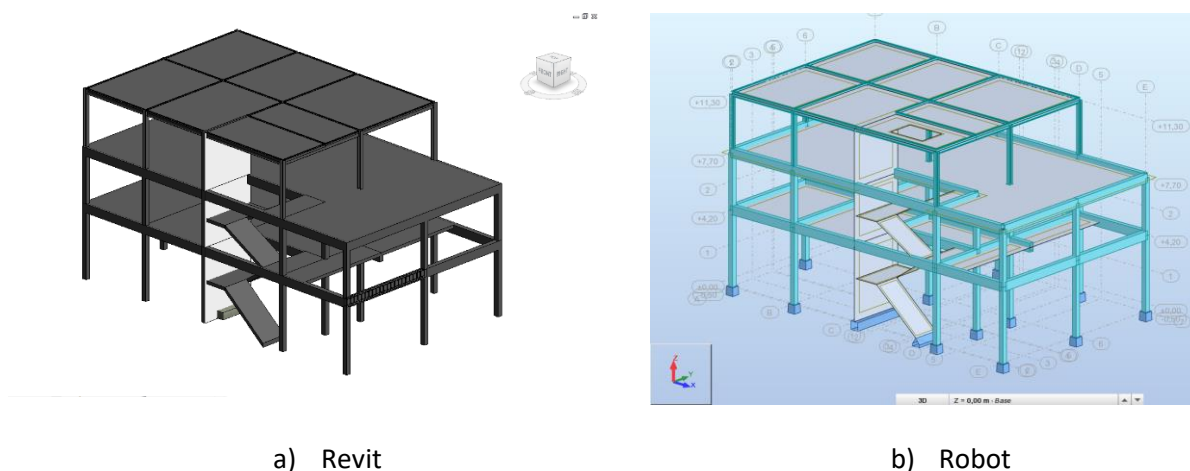


Figura 4.30 - Representações do modelo nos dois *softwares*.

Verificou-se uma rápida troca de informação entre os *softwares* (praticamente em tempo real), com uma percentagem reduzida de erros ou omissões na troca de dados. Pode-se dizer que a ferramenta atende plenamente às funcionalidades, reconhecendo praticamente todos os elementos e as suas respectivas características.

#### 4.2.9.3 Interligação entre o Revit 2018 e o SAP2000

Neste caso, visto que o Revit e o SAP2000 pertencem a empresas diferentes, a Autodesk e a *Computers and Structures* (CSI) respetivamente, a transferência do modelo de um *software* para o outro não constitui uma tarefa tão simples quanto o caso referido anteriormente.

Contudo, foi desenvolvido um *plug-in* designado por CSiXRevit que permite o intercâmbio de informações entre os *softwares* na forma de troca designado por *link* direto. Não foi possível testar a interligação através deste *plug-in* devido ao facto de este não estar disponível na versão de avaliação do SAP2000.

Para efeito de teste, só foi possível efetuar a exportação para o *software* de cálculo por intermédio de um ficheiro IFC, utilizando um pequeno projeto estrutural (ver Figura 4.31).

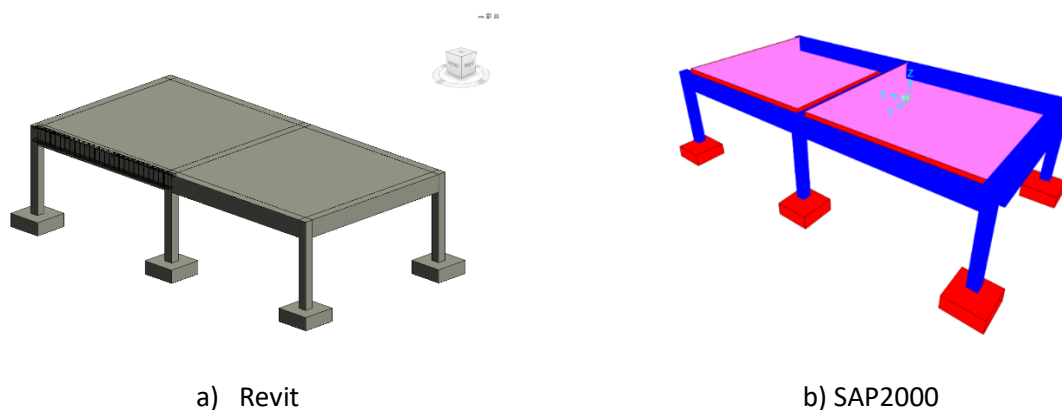


Figura 4.31 - Representações do modelo nos dois *softwares*.

Notou-se que este formato de troca não constitui uma prática muito fiável. Mesmo numa estrutura muito simples a troca de dados foi rápida, porém apresentou uma percentagem maior de erros como por exemplo, a troca dos eixos locais das vigas.

### 4.3 APLICAÇÃO A UM PROJETO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

O presente caso de estudo refere-se à modelação da estrutura do edifício de 5 pisos apresentado no capítulo 3.2 e localizado no centro da cidade do Porto. Procedeu-se à modelação de somente 3 destes pisos, visto que este modelo foi criado na fase final do estágio, servindo para explorar novas funcionalidades do Revit num projeto diferente e para validar as rotinas criadas e descritas no Capítulo 5.



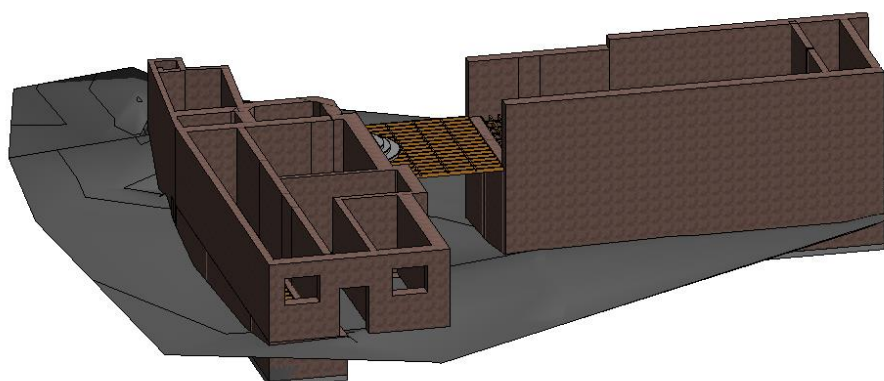


Figura 4.32 - Modelo Revit do edifício unifamiliar.

Para a validação das rotinas foram modelados os pisos de madeira, com recurso ao comando “*Beam System*” do Revit, apoiados nas alvenarias de granito assentes no terreno visível na Figura 4.32. Apresenta-se na Figura 4.33 as plantas estruturais dos pisos 0 e 1 onde é possível visualizar estes pavimentos de madeira, assim como as escadas tanto de madeira como de betão. Na planta do piso 0 é possível visualizar ainda as lajes térreas que se estimam ser de betonilha.

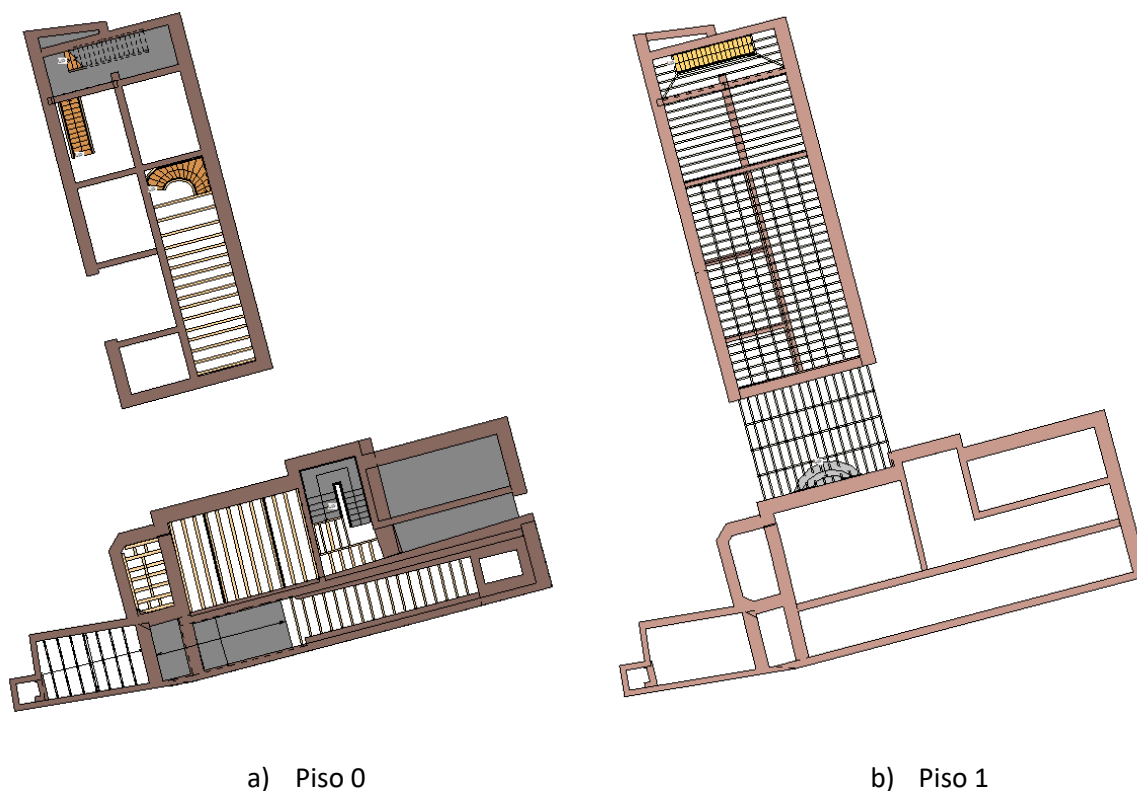


Figura 4.33 - Plantas estruturais do Edifício unifamiliar no Revit.

### 4.3.1 Modelação do terreno

A partir do levantamento topográfico fornecido pelo NCREP, procedeu-se à definição das linhas das curvas de nível no Revit. Esta funcionalidade pode ser acedida no menu “*Massing and Site*” e no painel “*Model Site*” (Figura 4.34).

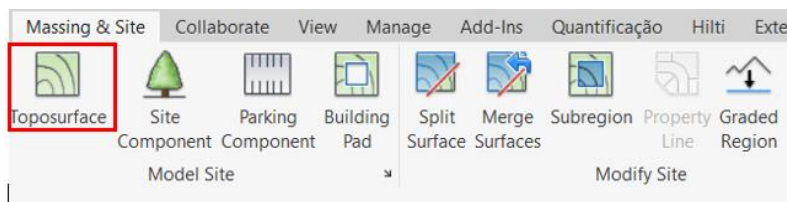
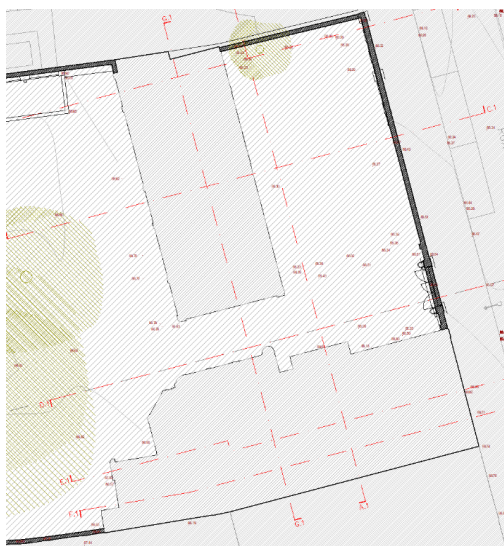
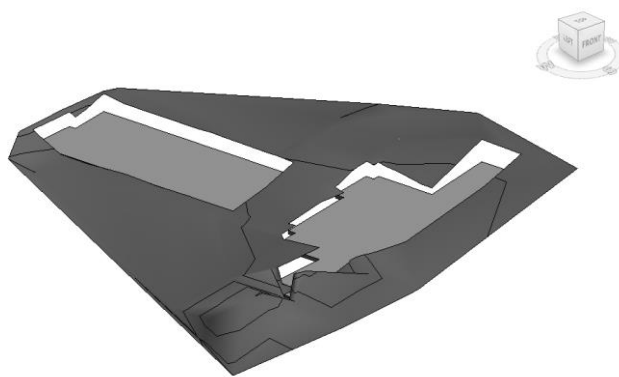


Figura 4.34 - Localização do comando “*Toposurface*”.

Após o ficheiro DWG fornecido ser importado para o Revit, as curvas de nível são definidas no Revit num processo relativamente lento, culminando no perfil do terreno visível na Figura 4.35 b).



a) Planta topográfica fornecida



b) Topografia em 3D no Revit

Figura 4.35 - Modelação da topografia no Revit.

### 4.3.2 Modelação das escadas

Assim como o terreno, as escadas não são consideradas estruturais no Revit. Na versão do Revit 2018, o comando escada pode ser acedido no menu “*Architecture*”, no painel “*Circulation*”. Para criar a maioria das escadas, é possível trabalhar no modo de edição da montagem da escada para adicionar componentes comuns e componentes personalizados. No modo de edição de montagem de escada, é possível definir componentes como lances de escada, patamares e suportes, em uma vista de planta ou em uma vista 3D (ver Figura 4.36).

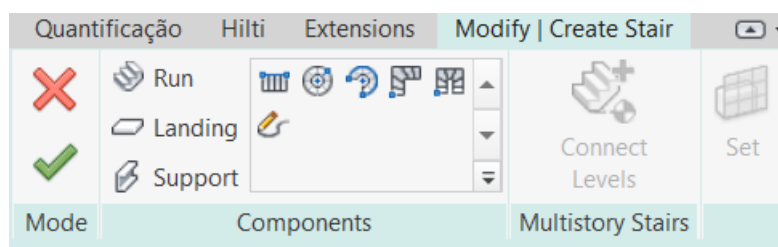
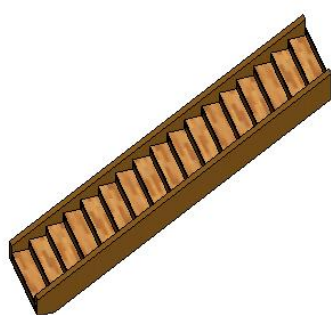


Figura 4.36 - Modo de edição do comando "Stair".

Os lances de escada podem ser retos, em espiral, em forma de L, em forma de U ou criando um desenho personalizado de lance de escada. Seguidamente, na Figura 4.37, são apresentados dois exemplos de escadas modeladas. Os patamares, assim como os suportes e corrimãos, foram criados automaticamente entre lances de escada.



a) Lance reto.



b) Lance em espiral.

Figura 4.37 - Exemplos de escadas do modelo.



## CAPÍTULO 5

### AUTOMATIZAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE MADEIRA

O presente capítulo tem o objetivo de descrever as rotinas do Dynamo criadas para automatizar o dimensionamento dos pavimentos de madeira modelados a partir do *software* Revit.

O Dynamo é uma ferramenta de código aberto desenvolvida para estender as funcionalidades do Autodesk Revit. Portanto, a sua instalação é automática nas versões mais recentes do Revit.

O Dynamo pode definir-se como uma ferramenta de programação visual que permite ao utilizador criar as suas próprias aplicações dispensando a escrita dos elevados números de linhas de código frequentes em linguagens típicas de programação. Estas aplicações podem ser chamadas rotinas e são realizadas de forma bastante interativa através dos diversos “nós” existentes no *software* e apresentados na Figura 5.1.

As rotinas do Dynamo permitem realizar tarefas complementares ao Revit como por exemplo a criação de modelos a partir de regras complexas ou de dados externos, automatização de tarefas repetitivas e interações entre o modelo e folhas de Excel.

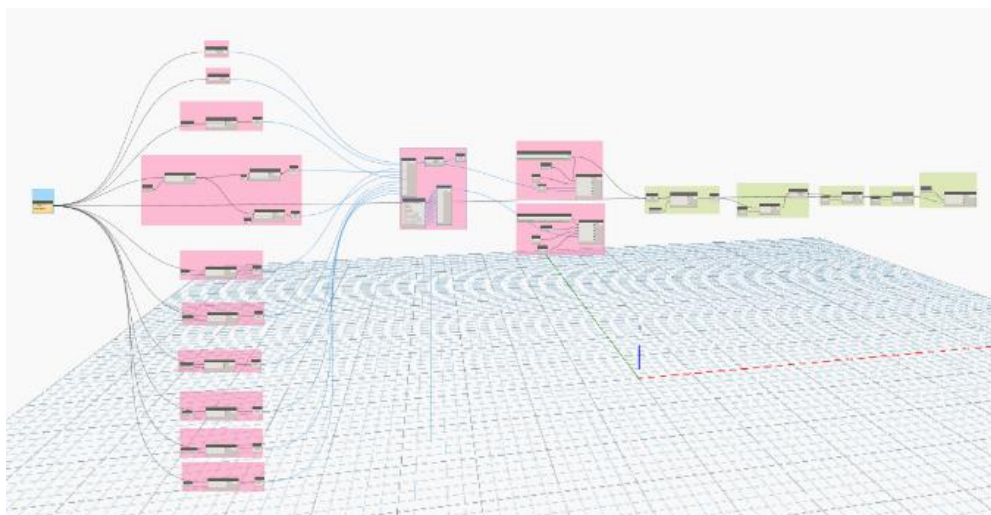


Figura 5.1 – Ambiente de trabalho do Dynamo.

Cada nó corresponde a uma determinada tarefa e está conectado de forma a criar uma sequência lógica de trabalho. Uma tarefa pode exprimir um comando já existente no Revit ou qualquer outro recurso pré-programado como seja alterar o valor de um parâmetro de um elemento, seleccionar objetos, comparar

valores, ler e escrever folhas de Excel, criar e apagar objetos no modelo, etc. Como se pode observar na Figura 5.2 cada nó necessita de alguns “inputs” e devolve informações que podem ser chamados “outputs”.

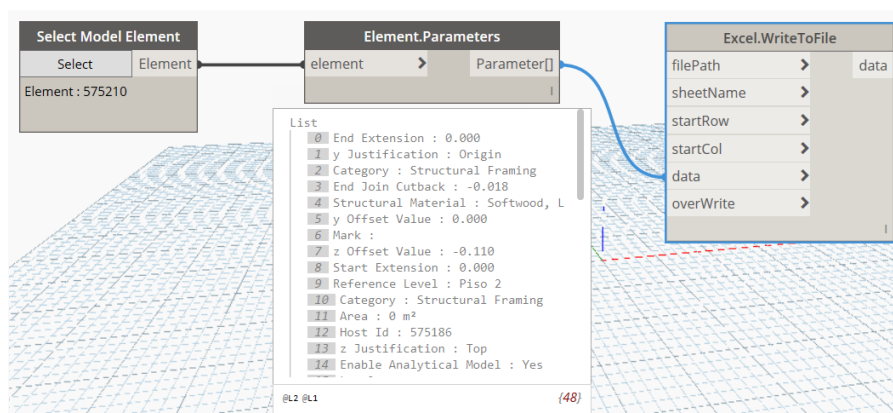


Figura 5.2 – Exemplo de um nó do Dynamo e os seus *inputs* e *outputs*.

## 5.1 ROTINAS DYNAMO

Foram desenvolvidas 3 rotinas: “Revit para Excel (por piso)”; “Excel para Revit com verificação (por piso)”; e “Verificação de segurança pavimentos de madeira”. As duas primeiras rotinas têm a capacidade de efetuar a interligação entre o modelo do Revit e a folha de Excel, neste caso possibilitando a realização do dimensionamento dos pavimentos manualmente, enquanto que a última rotina tem a capacidade de realizar, de forma automática e com recurso a uma folha de Excel pré-programada, a verificação de segurança de um pavimento de madeira.

Para a realização destas rotinas foi necessário criar alguns parâmetros de projeto no Revit, da forma descrita no capítulo 4.2.6.1. Estes parâmetros auxiliam na transferência dos dados entre o Revit e o Excel, pois têm a capacidade de armazenar informações (referentes aos pavimentos e vigas de madeira) inicialmente não disponibilizadas pelo Revit.

Para este projeto os pavimentos foram modelados no Revit através de sistemas de vigas (*structural beam system*) que representam os diferentes tramos de um determinado piso. Um piso pode ser modelado como um único tramo ou dividido em vários tramos, consoante a orientação e os espaçamentos entre as vigas sejam constantes ou não.

As rotinas estão preparadas para obter os valores do parâmetro “Fixed Spacing”, por isso os sistemas devem ser modelados através da distância fixa entre as vigas em vez do número fixo das vigas. Os manuais de utilização destas rotinas podem ser consultados no Anexo VI.

### 5.1.1 Revit para Excel

Esta rotina Dynamo foi criada com o objetivo de exportar informações de pavimentos de madeira existentes no modelo Revit para uma folha de Excel, onde posteriormente será efetuado o seu dimensionamento.

A rotina foi desenvolvida de forma a que o utilizador tenha somente de escolher o piso pretendido, dispondo de “nós” responsáveis por seleccionar todos os sistemas de vigas deste piso de madeira e enviar os respetivos parâmetros para o Excel.

O primeiro passo da rotina consiste em seleccionar, de forma automática, todos os sistemas de vigas do projeto através do nó “All Elements of Category”. O nó “Categories” dispõe de uma lista com todas as categorias existentes no projeto, entre elas o *structural beam system* como podemos observar na Figura 5.3.

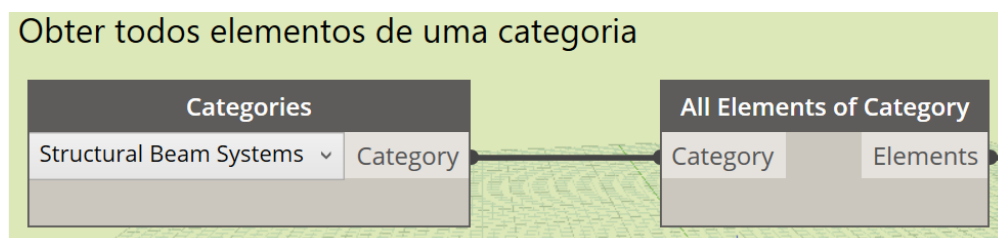


Figura 5.3 – Nó “All Elements of Category” e o seu input.

Através do nó “Element.GetParameterValueByName” é possível obter o valor do parâmetro de um elemento, como se encontra ilustrado na Figura 5.4. Ligando somente o parâmetro “Work Plane” ao nó “Element.GetParameterValueByName” obtém-se uma função. Esta função, ligando ao nó “GroupByFunction” agrupa todos os sistemas de vigas do projeto pelos pisos a que pertencem recorrendo a um índice que começa em zero e termina no número total de pisos menos um (0, 1, 2...n-1).

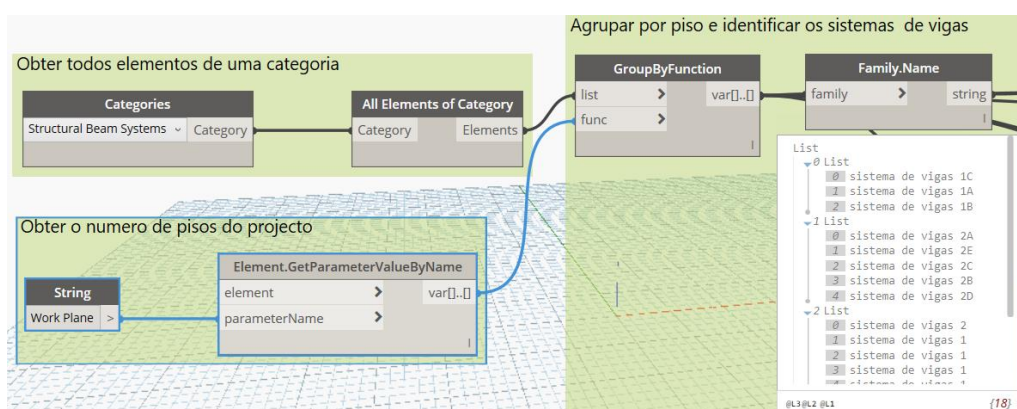


Figura 5.4 – Agrupamento dos sistemas por piso com o nó “Element.GetParameterValueByName”.



De seguida, é feito o levantamento dos parâmetros de todos os sistemas de vigas do projeto. Para este efeito, conforme indica a Figura 5.5 faz-se novamente uso do nó “Element.GetParameterValueByName” para todos os parâmetros desejados exceto para o nome e o Id dos elementos. Assim como os parâmetros “Name” e “Id”, o modo de obtenção da secção (Base “b” e Altura “d”) das vigas variam ligeiramente conforme a Figura 5.5.

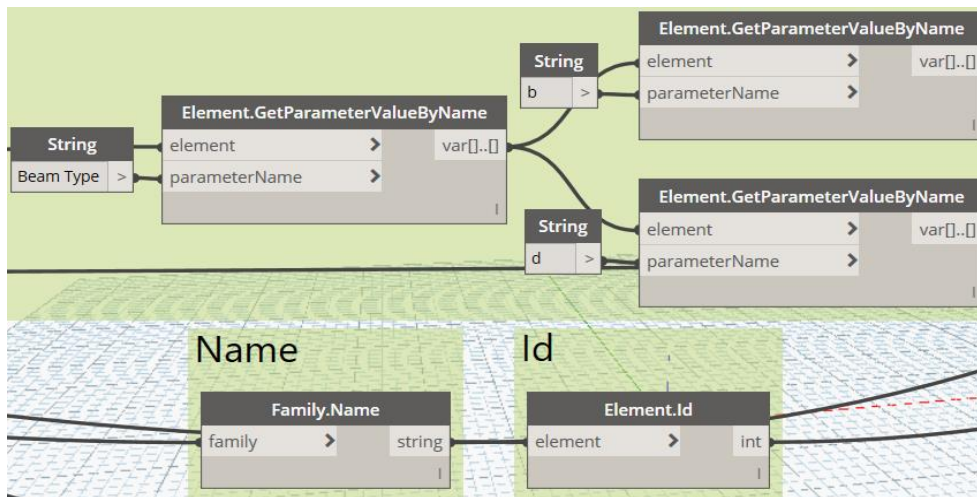


Figura 5.5 – Levantamento de parâmetros com o nó “Element.GetParameterValueByName”.

Como referido anteriormente, para facilitar o dimensionamento os valores dos parâmetros são transferidos para o Excel piso por piso. Sendo assim, cada lista de parâmetros passará a ser uma lista referente apenas aos sistemas de vigas de um determinado piso. Para o efeito utilizou-se o nó “List.GetItemAtIndex” repetidamente para todas as listas de parâmetros. Na Figura 5.6 é ilustrado o exemplo de alguns parâmetros.

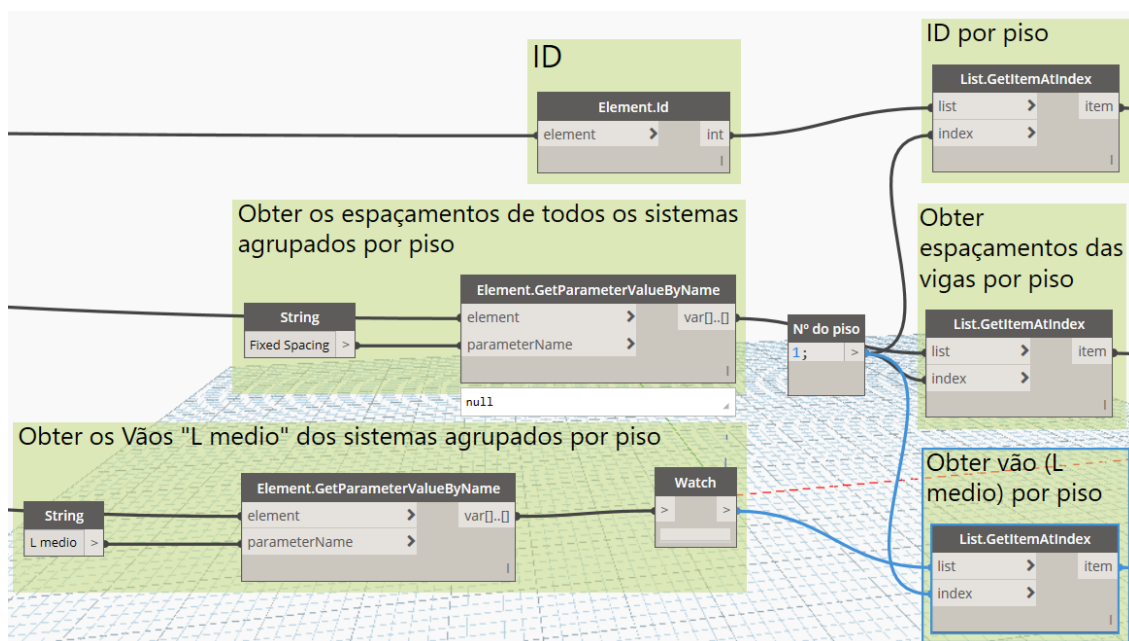


Figura 5.6 - Filtragem dos parâmetros por piso.



Obtidos os valores dos parâmetros por piso, cria-se uma lista com todos esses valores de parâmetros. A lista fica agrupada pelos parâmetros, ou seja, cada índice corresponde a um parâmetro diferente dos diversos sistemas de vigas. Como ilustrado na Figura 5.7, o índice zero (0) corresponde aos nomes dos sistemas de vigas, o índice um [1] aos seus respectivos ID e o índice dois [2] aos vãos dos sistemas de vigas de madeira.

Para transferir estes dados para o Excel foi necessário a utilização de alguns nós, visando uma melhor organização da informação e uma melhor inserção na folha de Excel. Optou-se por organizar a tabela de Excel de forma a que o cabeçalho fique na horizontal, ocupando a primeira linha. Visto que o Dynamo organiza os dados por linhas utilizou-se o nó “List.Transpose” que troca as linhas por colunas como se pode observar na Figura 5.7. O cabeçalho da tabela é criado através do nó “List.AddItemToFront” e corresponde aos nomes dos parâmetros recolhidos.

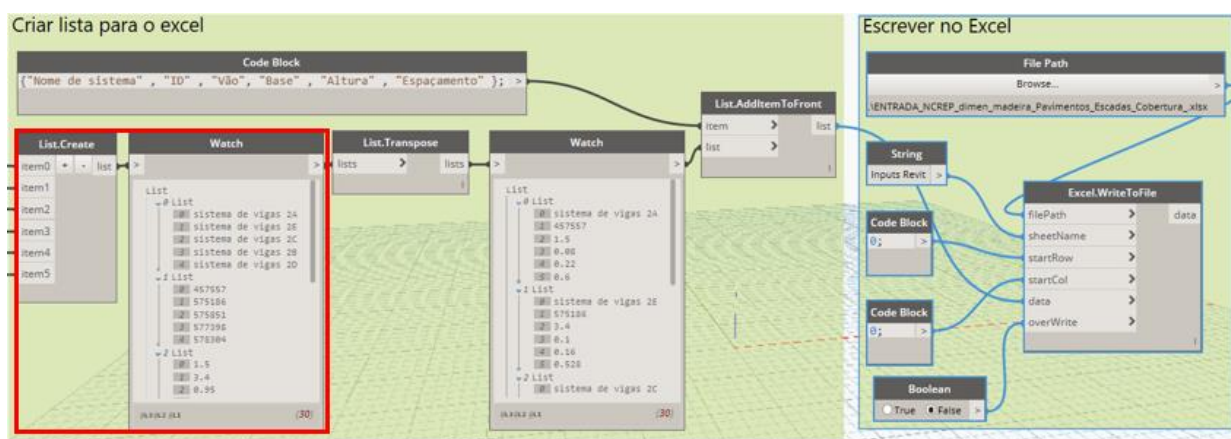


Figura 5.7 – Processo de criação da lista e sua transferência para o Excel.

Por último, o nó “Excel.WriteToFile” que permite a inserção dos dados do modelo Revit numa folha de Excel. São necessários inputs como o “File Path” para indicar o ficheiro Excel que irá receber os dados, neste caso o ficheiro onde é feito o dimensionamento dos pavimentos de madeira. O input “SheetName” é o nome da folha de Excel criada com a rotina Dynamo. Os inputs “startRow” e “startCol”, visualizados na Figura 5.7, correspondem à linha e à coluna onde os dados começam a ser inseridos na folha, onde o zero (0) corresponde a linha 1 e coluna 1 respetivamente.

Devido ao facto de as células estarem programadas para irem buscar os valores na folha “Inputs Revit” visualizada na Figura 5.8, a rotina tem instruções para usar sempre esta mesma folha de Excel em vez de criar uma folha nova. Sendo assim, o utilizador deve limpar as células desta folha sempre que utilizar a rotina exceto o cabeçalho que nunca se altera.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Nome de sistema	ID	Vão	Base	Altura	Espaçamento	
2	sistema de vigas 2A	457557	1,5	0,08	0,22	0,6	
3	sistema de vigas 2E	575186	3,4	0,1	0,16	0,528	
4	sistema de vigas 2C	575851	0,95	0,1	0,16	0,495	
5	sistema de vigas 2B	577398	1,24	0,1	0,16	0,605	
6	sistema de vigas 2D	578304	1,77	0,1	0,16	0,519	
7							
8							
9							
	Inputs Revit	Pavimentos, ELU_ELS				Outputs Revit	

Figura 5.8 – Folha do Excel preenchida com dados importados do Revit.

### 5.1.2 Excel para Revit com Verificação (por piso)

Após a execução da rotina anterior que permite enviar dados do modelo Revit para o Excel e após o dimensionamento dos pisos de madeira, é necessário atualizar as informações no modelo Revit com os resultados provenientes da folha de dimensionamento do Excel. Para este efeito foi criada a rotina que seguidamente se descreve.

A rotina “Excel para Revit com Verificação (por piso)” preenche, no Revit, os parâmetros “Espaçamento”, “Nova base (b da viga)” e “Nova altura (d da viga)”. Além disso, a rotina escreve no parâmetro “Comments” um texto indicando se a altura, a base ou o espaçamento dos sistemas de viga foram alteradas no processo de dimensionamento.

Em concordância com a rotina “Revit to Excel (por piso)” o utilizador preenche o nó destacado a azul, (Figura 5.11), com o número correspondente ao piso em análise. A leitura dos dados no Excel, resultantes do dimensionamento do piso de madeira é feita através do nó “Excel.ReadFromFile”. Este nó tem os seguintes *inputs*: “file” que é ligado ao nó “File Path” e que indica o ficheiro onde se encontra a informação, e “sheetName” que permite escolher a folha do ficheiro Excel que se pretende ler. Neste caso, como se encontra ilustrado na Figura 5.9, este *input* foi ligado ao nó com o texto “Outputs Revit”.

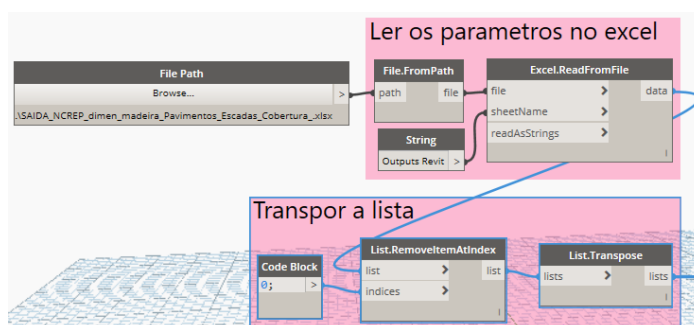


Figura 5.9 – Rotina em Dynamo para ler os parâmetros do Excel.

A seguir à leitura dos dados o processo de escrita no modelo Revit consiste em percorrer o caminho inverso à rotina explicada anteriormente “Revit para Excel (por piso)”. O nó “List.RemoveItemAtIndex” permite fazer a leitura da folha do Excel excluindo a linha de cabeçalho.

Usando o nó “ListTranspose” obtém-se a lista transposta dos valores de parâmetros lidos na folha “Outputs Revit”. O nó “List.GetItemAtIndex” permite selecionar de uma determinada lista, um grupo de valores associados a um índice. Na Figura 5.10 está apresentada a lista de todos os valores lidos, agrupados por parâmetros que correspondem aos índices. Ou seja, por exemplo, os valores do parâmetro “Nova altura (d da viga)” correspondem aos valores do índice 2 da lista (um valor para cada sistema de vigas do piso em análise).

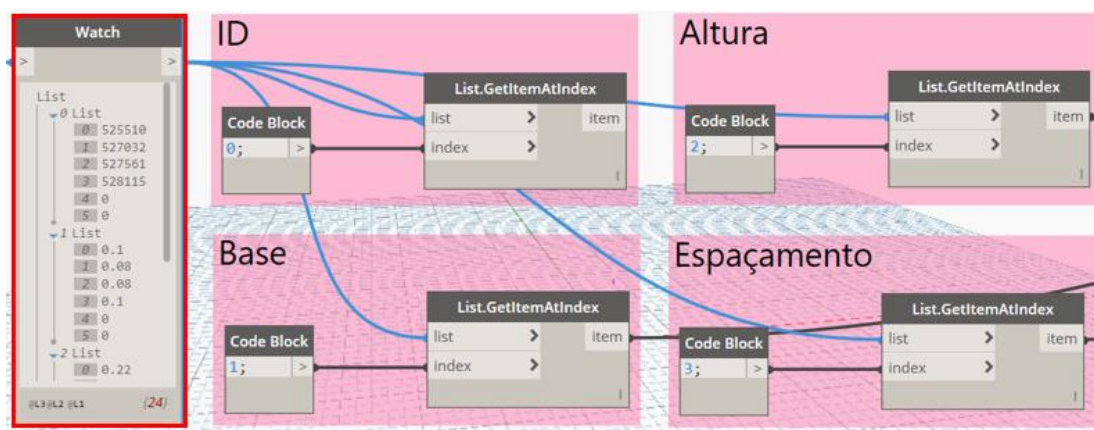


Figura 5.10 – Lista com os valores lidos no Excel.

Como indica a Figura 5.11 o envio dos valores lidos do Excel para o modelo Revit é feito através do nó “Element.SetParameterByName” que dispõe dos *inputs* “element”, “parameterName” e “value”.

O *input* “element” é preenchido ligando ao nó que contém os sistemas de vigas de um determinado piso selecionado. Neste caso, os elementos selecionados são os sistemas de vigas do piso correspondente ao índice 3 [de forma análoga à rotina “Revit para Excel (por piso)”].

O *input* “parameterName” permite indicar o parâmetro a ser preenchido através do respetivo nome e em concordância com o parâmetro escolhido para ligar ao *input* “value”. Este *input* por sua vez é preenchido ligando um dos nós “List.GetItemAtIndex” observado na Figura 5.10.

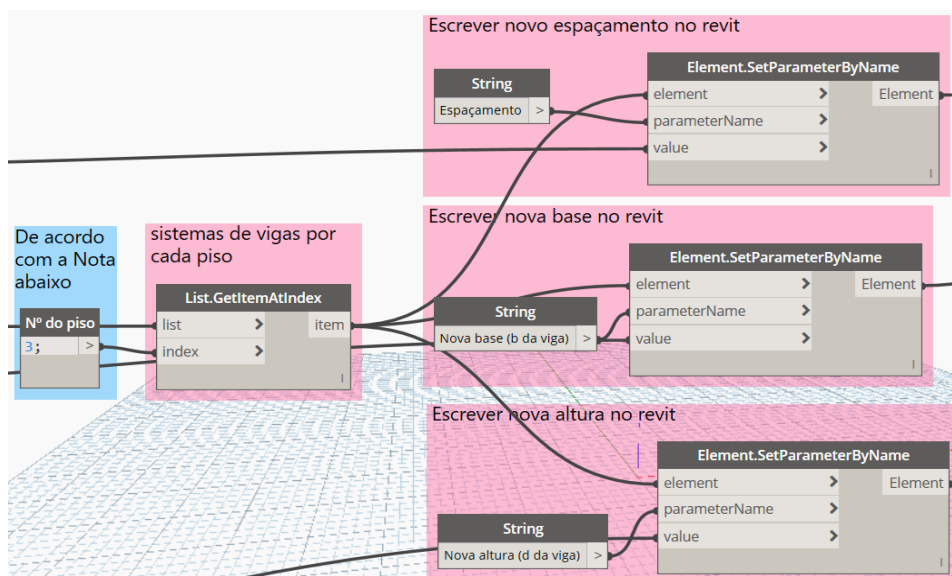


Figura 5.11 – Rotina para escrever os dados no modelo Revit.

Além de preencher os parâmetros “Espaçamento”, “Nova base (b da viga)” e “Nova altura (d da viga)”, foram acrescentadas à rotina um conjunto de tarefas que permite verificar se estes novos parâmetros estão em concordância com os parâmetros iniciais do sistema de vigas (antes do dimensionamento). No caso desses parâmetros não serem alterados no processo do dimensionamento, o parâmetro “Comments” é preenchido com o texto “OK!” e no caso de não coincidirem é preenchido com o texto “Alterar Espaçamento”.

O processo anteriormente descrito encontra-se ilustrado na Figura 5.12 e consiste em fazer o levantamento dos valores dos parâmetros “Fixed Spacing” e “Espaçamento”, ambos indicando o valor do espaçamento entre as vigas de madeira sendo uma antes (parâmetro existente no Revit) e a outra após o dimensionamento (parâmetro criado pelo autor da presente dissertação). Com os dois valores obtidos é feito um teste de igualdade com o nó “==” e através do nó “if” obtém-se o texto “ok” ou “alterar espaçamento” à medida que o teste seja verdadeiro ou falso, respetivamente.

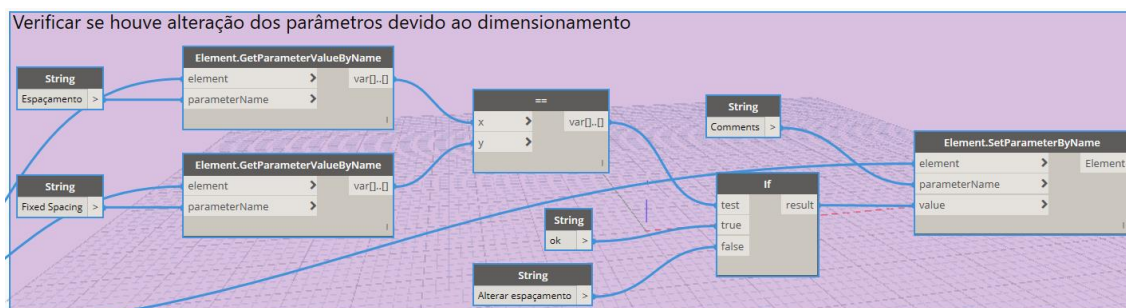


Figura 5.12 – Processo de verificação de alteração dos parâmetros após o dimensionamento.

### 5.1.3 Verificação de segurança de pavimentos de madeira

Este subcapítulo abrange a rotina Dynamo criada com o nome “Verificação de segurança de Pavimentos de madeira” que, como o nome diz, tem o objetivo de efetuar a verificação de segurança de um determinado sistema de vigas.

Esta rotina compreende as tarefas utilizadas para as duas rotinas explicadas anteriormente. No 1º nó do algoritmo do Dynamo, o utilizador clica em “select” indicado na Figura 5.13 e logo em seguida seleciona o sistema de vigas estruturais pretendido (é recomendável ter a janela do Dynamo aberta em paralelo com a janela da planta estrutural do Revit para poder selecionar o sistema);

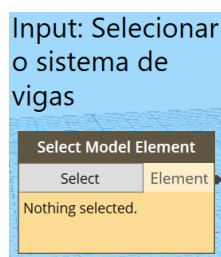


Figura 5.13 – Nó “Select Model Element” do Dynamo.

Com o sistema de vigas selecionado, a rotina do Dynamo vai recolher os valores dos parâmetros deste sistema através do nó “Element.GetParameterValueByName”.

O passo seguinte é criar duas listas no Dynamo através do nó “List.Create”, uma com os nomes dos parâmetros e outra com os valores recolhidos assim como se encontra ilustrado na Figura 5.14.

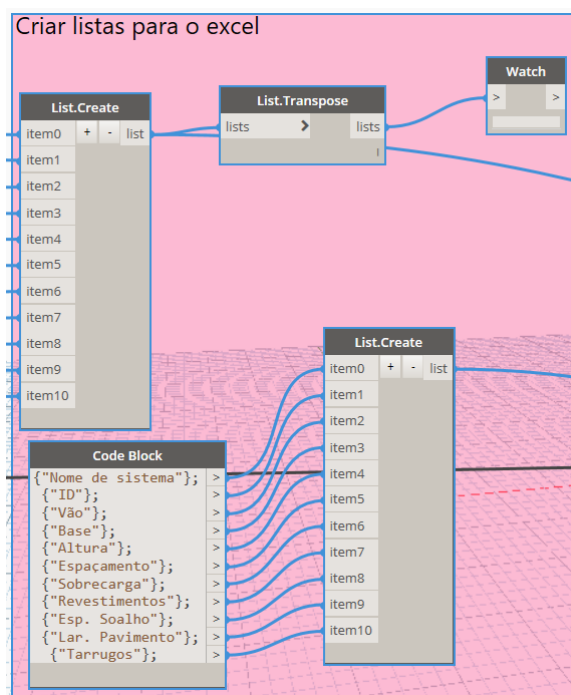


Figura 5.14 – Listas dos parâmetros a ser transferidos e os seus respetivos valores.

As duas listas são inseridas numa folha de Excel através do nó “Excel.WriteToFile”, onde é realizada a verificação de segurança. Um dos *inputs* deste nó é a localização do ficheiro de Excel onde se deseja criar uma folha automaticamente. Outro *input* é o nome da folha a ser criada, neste caso “Inputs Revit”.

As células de preenchimento da folha “Pavimentos, ELU\_ELS”, que são necessários para o dimensionamento, estão programadas para importar valores da folha “Inputs Revit”.

Como referido anteriormente, o objetivo desta rotina é verificar a segurança de um pavimento de madeira. Sendo assim, foi programado uma célula na folha “Outputs Revit” com várias fórmulas “Se” encadeadas, em que devolve o valor “OK!” caso todos os critérios do E.L. Último e de Utilização sejam satisfeitos, ou o valor “Não Verifica” no caso de pelo menos um dos critérios não for satisfeito.

A rotina Dynamo vai buscar o resultado desta célula através do nó “Excel.ReadFromFile”, e preenche, no Revit, o parâmetro “Verificação” localizado na barra de propriedades do sistema de vigas usando o nó “Element.SetParameterByName”.

#### 5.1.4 Organização do ficheiro de Excel

Para que o processo de automatização do dimensionamento de pavimentos de madeira seja realizado com sucesso, além das rotinas desenvolvidas é necessário o ficheiro de Excel previamente programada e preparada para este dimensionamento.

O ficheiro de Excel referido no parágrafo anterior foi disponibilizado pelo NCREP e tem capacidade de dimensionar pavimentos de madeira considerando o Estado Limite último (ELU) e o Estado limite de Serviço (ELS). Como é possível visualizar na Figura 5.15 foram criadas duas folhas, A “Inputs Revit” responsável por receber os dados provenientes do modelo Revit e o “Outputs Revit” onde é organizado os dados antes de ser exportado para o modelo Revit novamente.

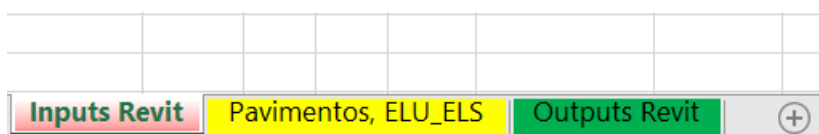


Figura 5.15 - Folhas contidas no ficheiro de Excel.

Na folha “Pavimentos, ELU\_ELS” visualizado na Figura 5.16 são realizados todos os cálculos de verificação/dimensionamento dos pavimentos de madeira. As células referentes às características da viga de madeira, do pavimento e do seu carregamento, destacada na Figura 5.16, foram programadas (pelo estagiário) para irem buscar os valores às células da folha “Inputs Revit”, que são os valores importados do modelo Revit. As restantes células estão programadas com fórmulas de verificação que preenchem as células com cor verde ou vermelho caso sejam verificadas as condições ou não.



	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AX	AY	AZ					
1																																												
2																																												
3																																												
4																																												
5																																												
6																																												
7																																												
8																																												
9																																												
10																																												
11																																												
12																																												
13																																												
14																																												
15																																												
16																																												
17																																												
18																																												
19																																												
20																																												
21																																												
22																																												
23																																												
24																																												
25																																												
26																																												
27																																												
28																																												
29																																												
30																																												
31																																												
32																																												
33																																												
34																																												
35																																												
36																																												
37																																												
38																																												
39																																												
40																																												

Figura 5.16 - Folha "Pavimentos, ELU\_ELS" do Excel.

Como referido anteriormente, a rotina “Revit to Excel (por piso)” está associada a uma folha de Excel onde somente é efetuado o dimensionamento. Enquanto que, a rotina “Excel para Revit com Verificação (por piso)” está associada a um outro ficheiro de Excel responsável por guardar as alterações feitas do dimensionamento e exportá-las novamente para o modelo Revit. Neste último ficheiro a folha “Outputs Revit” tem células programadas para irem buscar os dados do sistema de viga após o dimensionamento, nomeadamente o ID, a nova dimensão da base e altura das vigas e o novo espaçamento entre elas.

A rotina “Verificação de segurança de Pavimentos de madeira” está associada a um ficheiro de Excel em que a folha “Outputs Revit” possui uma célula programada com várias fórmulas “Se” apresentada na Figura 5.17 e descritas anteriormente no ponto 5.1.3 em que verifica se todas as condições do ELU e ELS foram verificadas.

=SE(E("Pavimentos, ELU_ELS\!AX8<1;"Pavimentos, ELU_ELS\!B18<1;"Pavimentos, ELU_ELS\!BL8<1;"Pavimentos, ELU_ELS\!BP8<1;"Pavimentos, ELU_ELS\!BU8<1;"Pavimentos, ELU_ELS\!BV8<1;"Pavimentos, ELU_ELS\!BY8<1;"Pavimentos, ELU_ELS\!C8<1;"Pavimentos, ELU_ELS\!CP8<1;"OK!";"Não Verifica!")																															
E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
Verificação																															
#DIV/0!																															

Figura 5.17 - Fórmula "Se" encadeadas para a verificação de segurança de pavimentos de madeira.





## CAPÍTULO 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho, resultado de 5 meses de estágio, serviu para avaliar as vantagens e desvantagens da aplicação da metodologia BIM a projetos de reabilitação estrutural de edifícios antigos com recurso a técnicas de modelação tanto do existente como de elementos estruturais a construir. Explorando o modelo construído adquiriu-se experiência e conhecimentos sobre esta temática que complementado com pesquisas bibliográficas foi possível tirar algumas conclusões.

Apesar de não ser possível a realização de levantamentos utilizando o *laser scanning*, através de pesquisas bibliográficas e de trabalhos realizados sobre o mesmo tema, foi possível concluir que este método ainda não é uma prática corrente no mercado devido ao custo relativamente elevado. Contudo, prevê-se que com o desenvolvimento desta metodologia a utilização do *laser scanning* irá se tornar mais frequente, reduzindo assim o custo e o tempo despendido no levantamento do existente.

Com o caso estudado, foi possível adquirir conhecimentos de modelação de um edifício antigo com base no levantamento realizado pelos métodos convencionais, ou seja, explorando modelação guiada pelos desenhos importados do CAD.

A modelação de elementos existentes demonstrou ser uma tarefa relativamente morosa, quando se trata de técnicas construtivas singulares, como as paredes de frontal ou de disposições construtivas rudimentares que já não se aplicam em construções modernas.

No decorrer da elaboração do projeto foi possível obter virtualmente um modelo representativo do real, com um elevado nível de detalhe e pormenorização que auxilia o projetista na tomada de decisão.

Ficou comprovado o armazenamento de toda informação da construção num único ficheiro. Os *softwares* permitem ter no mesmo ficheiro as diversas fases da construção, representando os elementos demolidos e construídos, o que representa uma mais-valia evitando a realização de vários ficheiros. Além disso, devido á capacidade de obtenção automática das plantas, cortes e alçados, são evitados a repetição de trabalhos, prevenindo assim erros e omissões.

Para além de se conseguir manipular toda a informação do modelo num *software*, tal como quantidades e custos, é possível acrescentar informações aos elementos que podem ser facilmente transferidos para uma aplicação de cálculo ou então para uma folha de Excel através de um processo de automatização de tarefas.

Considerando os argumentos acima citados foi admissível concluir que a integração da metodologia BIM nos projetos de reabilitação tem bastantes fatores positivos que contribuem para uma melhoria na elaboração destes projetos, comparativamente aos métodos convencionalmente utilizados.

## 6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Na sequência deste trabalho, apesar de concretizados os objetivos inicialmente definidos ainda existem algumas propostas de estudos viáveis de desenvolver no futuro, descritas nos pontos seguintes:

- Efetuar o levantamento do existente, através de técnicas como o *laser scanning* e a fotogrametria, testando assim a modelação dos elementos a partir da nuvem de pontos obtida;
- Dar sequência na exportação do modelo para o *software* de cálculo SAP2000 através do plug-in CSIXRevit;
- Refinar as rotinas desenvolvidas em Dynamo, acrescentando mais parâmetros aos elementos, de modo a preencher a folha de Excel o máximo possível, automaticamente;
- Desenvolvimento de novas rotinas no Dynamo que permitam automatizar novas tarefas, de forma a potencializar o processo de conceção dos projetos de reabilitação estrutural de edifícios antigos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pires, Henrique João de Campos. **Automatização da Modelação BIM de Armaduras no Projeto de Estruturas**. Porto : 2017. Dissertação de mestrado.
- [2] Volk, R., Stengel, J. & Schultmann, F.. **Building Information Models (BIM) for Existing Buildings Literature Review and Future Needs**. Automation in Construction, 38 (Março 2014) 1-24.
- [3] Lucas, Andreia de Castro. **A Integração do Building Information Modeling (BIM) num Projeto de Reabilitação**. Minho : 2015. Dissertação de mestrado.
- [4] Lino, J. C., Azenha M. e Lourenço, P (2012). **Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas**. Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012, FEUP. Disponível em [https://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/076\\_Artigo.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/076_Artigo.pdf)
- [5] Eastman, Chuck et al. - **BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [6] Campestrini, Tiago Francisco - **Entendendo BIM**. Curitiba, Brasil: Tiago Francisco Campestrini, 2015.
- [7] Martini, Gustavo. **GM Arquitetura & Engenharia**. [Online] 10 de Março de 2018. [Consult.1 de junho a 6 de Julho de 2018.] Disponível em <https://www.gmarquiteturaengenharia.com/single-post/2018/03/10/BIM-E-AS-POLITICAS-P%C3%9ABLICAS-DO-BRASIL>.
- [8] Cardoso, Andreia et al. **BIM: O que é?** Porto : 2013. Disponível em [https://paginas.fe.up.pt/~proifeup/bestof/12\\_13/files/REL\\_12MC08\\_01.PDF](https://paginas.fe.up.pt/~proifeup/bestof/12_13/files/REL_12MC08_01.PDF)
- [9] **Autodesk**. [Online] [Consult. 1 de Junho a 6 de Julho de 20018.] Disponível em <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore?sort=score>.
- [10] Haron et al. **Building Information Modelling in Integrated Practice**. Manchester: 2009. Disponível em <http://usir.salford.ac.uk/16624/>
- [11] BIMFORUM (Novembro 2017). Level of Development Specification Guide. Disponível em <https://bimforum.org/lod/>

- [12] Manzione, Prof. Dr. Eng. Leonardo. **Coordenar: Consultoria de ação**. [Online] 22 de Setembro de 2015. [Consult. 1 de Junho a 6 de Julho de 2018]. Disponível em <http://www.coordenar.com.br/especificacoes-nd-versao-2015-para-bim/>.
- [13] Thomassen, Mats. **BIM and Collaboration in the AEC Industry**. Dinamarca: 2011. Tese de mestrado
- [14] Eastman, Chuck et al. - **BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors** . 2ª Edição. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [15] **buldingSMART. International home of openBIM**. [Online] [Citação: 1 de Junho a 6 de Julho de 2018.] <http://buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview>.
- [16] Kiviniemi, Arto. **Support for Building Elements in the IFC 2x3 Implementations based on 6th Certification Workshop Results in May 2007**. Disponível em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:IFGrghW5cPMJ:www.coinsweb.nl/downloads/>
- [17] Nunes, Nivalda et al. **Implantação da Plataforma BIM: Vantagens e Desvantagens**. XII Semana Universitária e XI Encontro de Iniciação Científica Unifimes 2017. Disponível em [https://www.unifimes.edu.br/admin/siterapido/uploads/semana/xii\\_semana/artigos/engenharias\\_tecnologias/IMPLANTAC%CC%A7A%CC%83O%20DA%20PLATAFORMA%20BIM%20-%20VANTAGENS%20E%20DESVANTAGENS.pdf](https://www.unifimes.edu.br/admin/siterapido/uploads/semana/xii_semana/artigos/engenharias_tecnologias/IMPLANTAC%CC%A7A%CC%83O%20DA%20PLATAFORMA%20BIM%20-%20VANTAGENS%20E%20DESVANTAGENS.pdf)
- [18] Maritan, Flávia. **BIMRevit**. [Online] 14 de Dezembro de 2017 . [Consult. 15 de Junho de 2018]. Disponível em <http://www.bimrevit.com/2017/12/software-bim.html>.
- [19] **Computers & Structures, Inc.** [Online] [Consult. 1 de Junho a 6 de Julho de 2018]. Disponível em <https://www.csiamerica.com/>.
- [20] **Autodesk**. [Online] [Consult. 1 de Junho a 6 de Julho de 2018.] Disponível em <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>.
- [21] **Autodesk**. [Online] [Consult. 1 de Junho a 6 de Julho de 2018.] Disponível em <https://www.autodesk.com/products/dynamo-studio/overview>.
- [22] Fernandes, José P. M.. **A Metodologia Building Information Modeling Aplicada ao Projeto de Estruturas**. Minho: Novembro de 2013. Tese de mestrado.
- [23] Cabrita, Inês. **3NTA**. [Online] 13 de Outubro de 2015. [Consult. 12 de Junho de 2018.] Disponível em <http://www.3nta.com/the-rehabilitation-of-buildings-an-interdisciplinary-approach/>.

- [24] Câmara Municipal de Lisboa. **Conceito Urbanístico de Reabilitação Urbana** . [Online] [Consult. 12 de Junho de 2018.] Disponível em <http://www.cm-lisboa.pt/viver/urbanismo/reabilitacao-urbana/incentivos-fiscais-e-operacionalizacao/conceito-urbanistico-de-reabilitacao-urbana>.
- [25] Appleton, João - **Reabilitação de Edifícios Antigos: Patologias e Tecnologias de Intervenção**. 2ª edição. Edições Orion, 2011.
- [26] Anton, Daniel et al. **Accuracy Evaluation of the Semi-automatic 3D Modeling for Historical Building Information Models**. International Journal of Architectural Heritage. ISSN: 1558-3066. (2018)1-13.
- [27] Schenk, T. Introduction to Photogrammetry. Ohio: 2005.
- [28] Mikhail, Edward. **Introduction to Modern Photogrammetry**. EUA : John Willey & Sons, 2001.
- [29] Barber, D. M., Dallas, R. W. A. & Mills ,J. P.. **Laser Scanning for Architectural Conservation**. Journal of Architectural Conservation. 12:1 (16 Jan 2014) 36-50.
- [30] Barber, David; Mills, Jon & Bryan, Paul. **Laser Scanning and Photogrammetry: 21st Century Metrology**. Reino Unido: 2001.
- [31] GSA (2009). **BIM Guide for 3D Image - Série 03**. Disponível em [https://www.gsa.gov/cdnstatic/GSA\\_BIM\\_Guide\\_Series\\_03.pdf](https://www.gsa.gov/cdnstatic/GSA_BIM_Guide_Series_03.pdf)
- [32] Tang, Pingbo et al. **Automatic Reconstruction of as-built Building Information Models from Laser-scanned Point Clouds: A Review of Related Techniques**. Automation in Construction. 19 (2010) 829–843.
- [33] Hichri, N et al. **Review of the « AS-BUILT BIM » Approaches**. Trento, Italy: 26 de Fevereiro de 2013. Disponível em <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W1/107/2013/isprsarchives-XL-5-W1-107-2013.pdf>
- [34] **Google**. [Online] [Consult. 1 de Junho a 6 de Julho de 2018.] Disponível em <https://www.google.com/maps>
- [35] CADD COMMUNITY (2016). **Building What Has Already Been Built: Revit for Existing Buildings**. Disponível em <https://www.caddmicrosystems.com/sites/default/files/Revit%20for%20Existing%20Buildings%20-%20Whitepaper.PDF>



## **ANEXOS**





## **ANEXO I – PLANTAS ESTRUTURAIS DO EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR (INSPEÇÃO 1)**



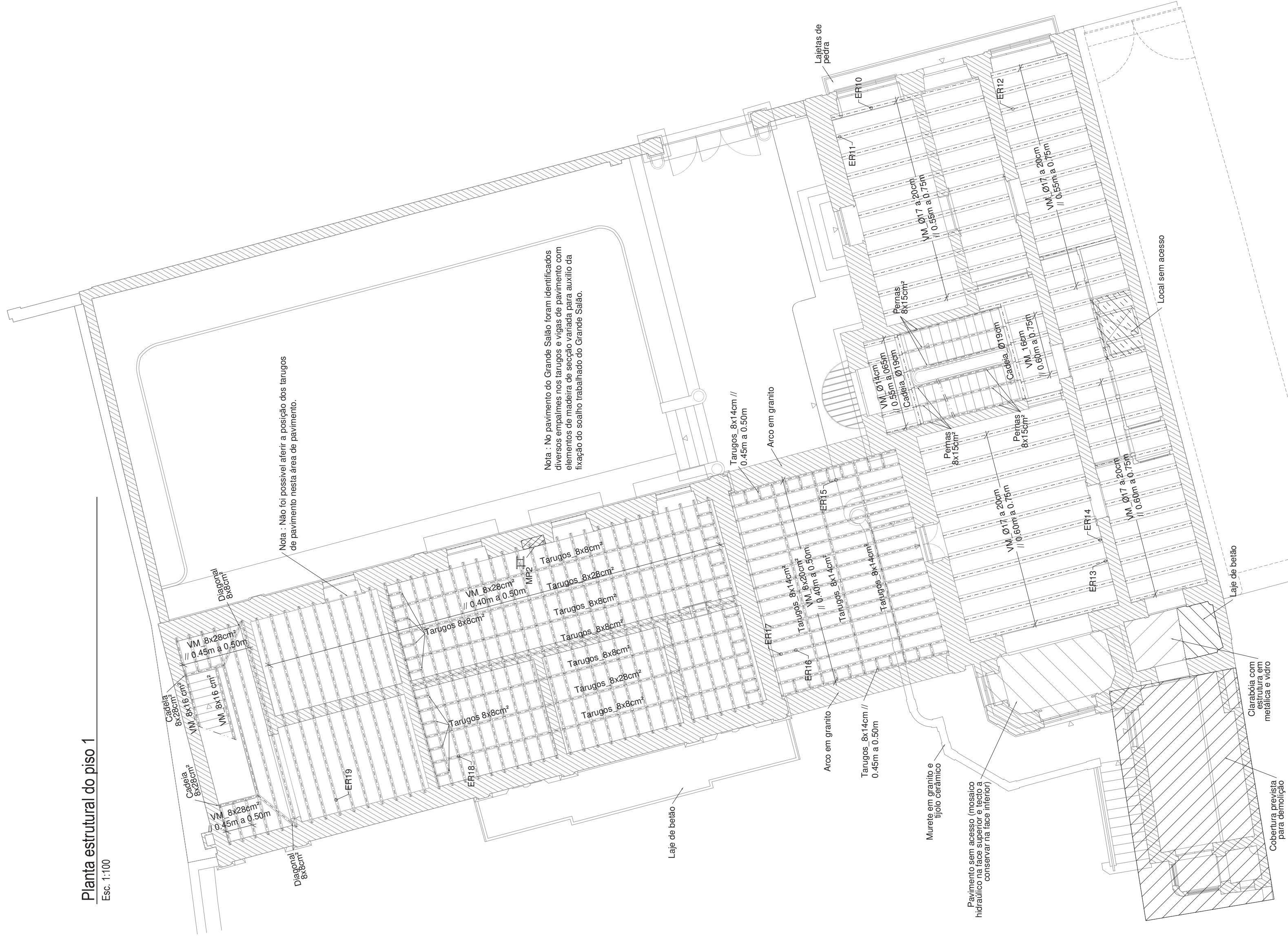






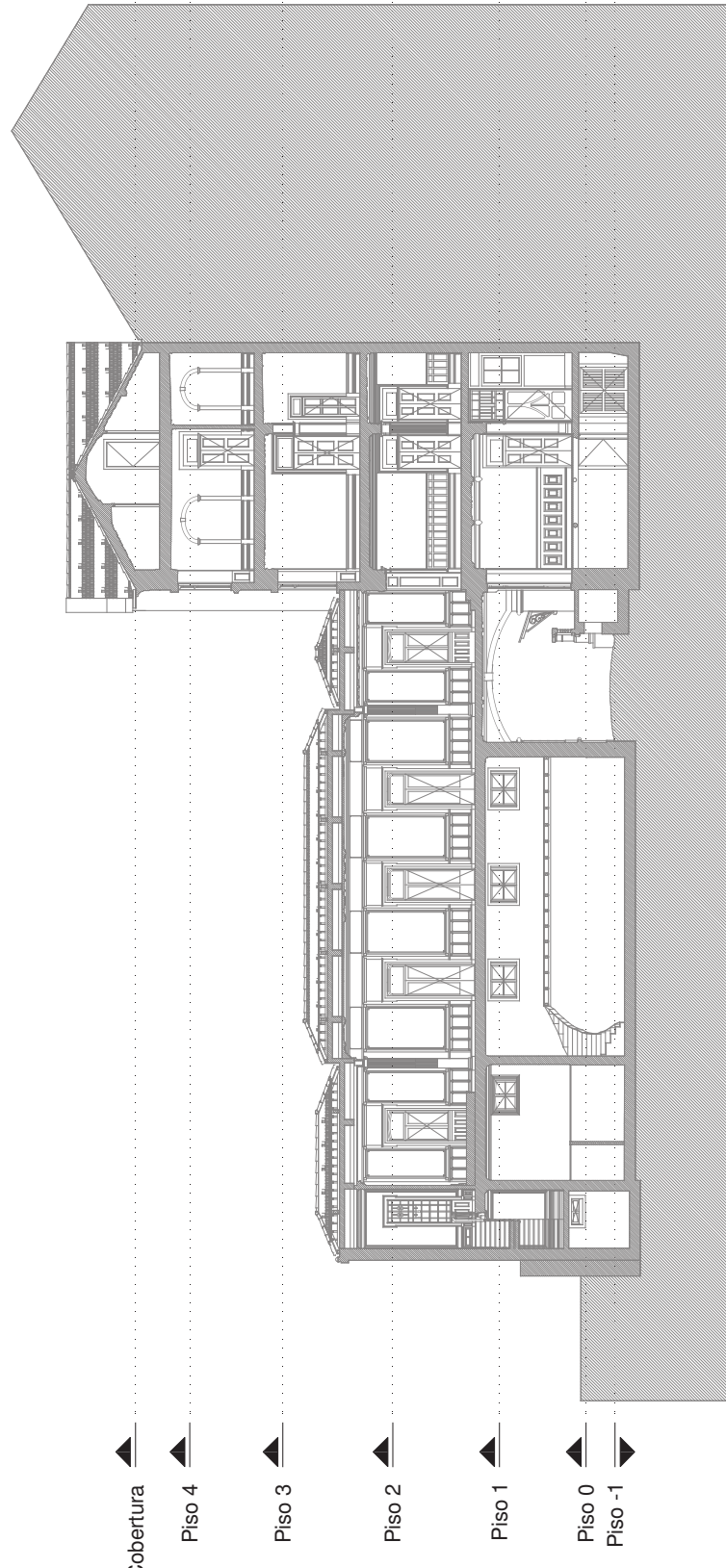
# Planta estrutural do piso 1

Esc. 1:100



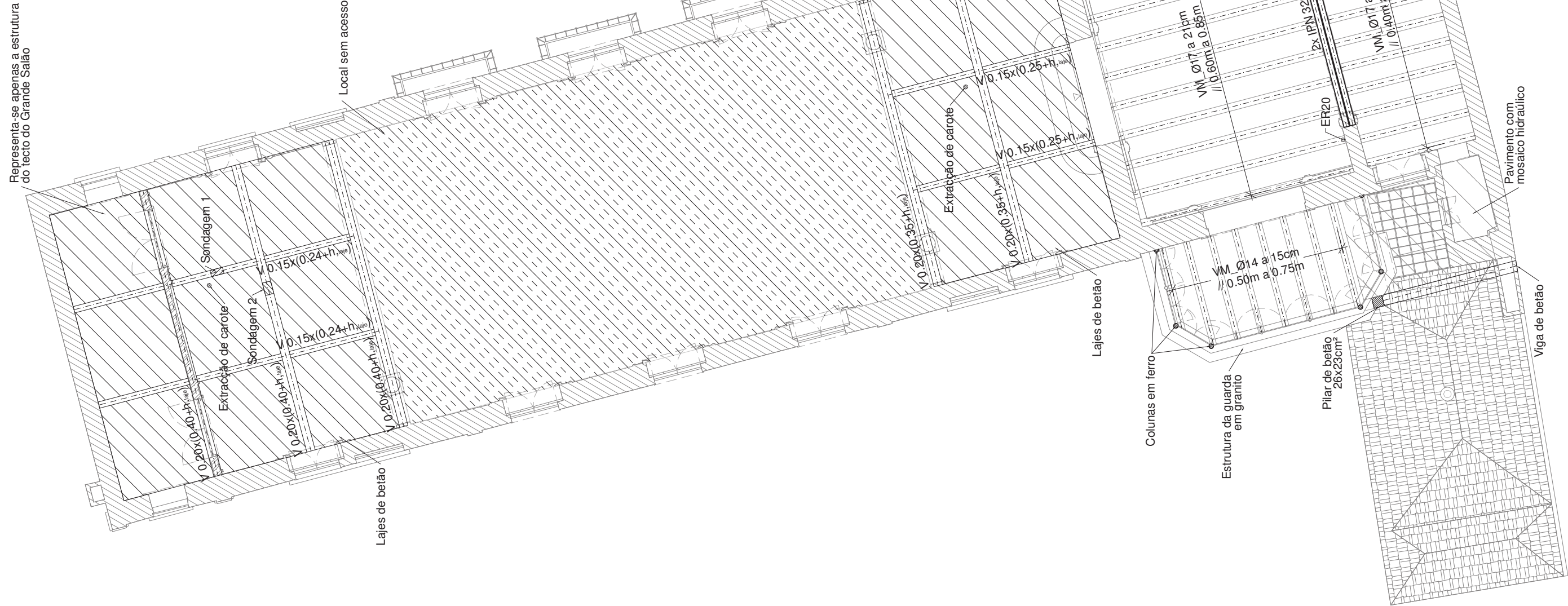
### Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



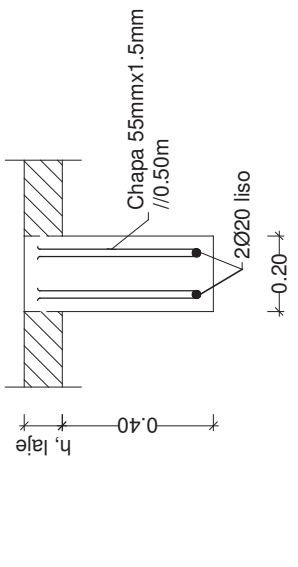
## Planta estrutural do piso 2

Esc. 1:100



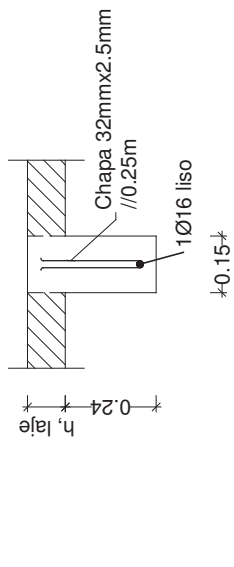
## Sondagem 1

Esc. 1:20



## Sondagem 2

Esc. 1:20



Nota 1: Foi identificada uma espessura de recobrimento da armadura inferior variável entre 10 a 30mm.

Nota 2: A armadura superior não se encontra representada c

que apenas se realizou uma sondagem inferior em cada vigas

Nota 1: Nos poços de sondagem efectuados foram detectados alargamentos de fundação, qualquer intervenção nestes elementos deverá ser evitada/minimizada. Qualquer corte que se pretenda realizar deverá ser avaliado pela equipa projectista.

<p> <b>Nota 3:</b> As operações de vendas realizadas </p>
---

NOTA 2: As espessuras de paredes representadas resultam do levantamento de arquitetura. Durante as

inspecções verificaram-se as suas dimensões por amostragem. Qualquer espessura de parede deverá

anteriormente, qualquer exposição ao patógeno deverá ser confirmada no local.

NOTA 2: As espessuras de paredes representadas resultam do levantamento de arquitetura. Durante as

inspecções verificaram-se as suas dimensões por amostragem. Qualquer espessura de parede deverá

anteriormente, qualquer exposição ao patógeno deverá ser confirmada no local.

---

OSRA	Calificación de la Cadena de Valor	404	407	Dato
OSRA	Calificación de la Cadena de Valor	404	407	Dato

**EDIFICIO NA RUA DE CECILIA Nº 401 A 407 - FONO**  
Laboratório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural

DESIGNAÇÃO

Planta estrutural do piso 1 e piso 2

PROJECTO	DESENHO	A
IMO EM	EM	

JMCA, F-IV F-IV

reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua ex-

---

Planta estrutural do piso 1 e piso 2

PROJECTO	DESENHO	A
IMO EM	EM	

JMCA, F-IV F-IV

reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua ex-

---

Planta estrutural do piso 1 e piso 2

PROJECTO	DESENHO	A
IMO EM	EM	

JMCA, F-IV F-IV

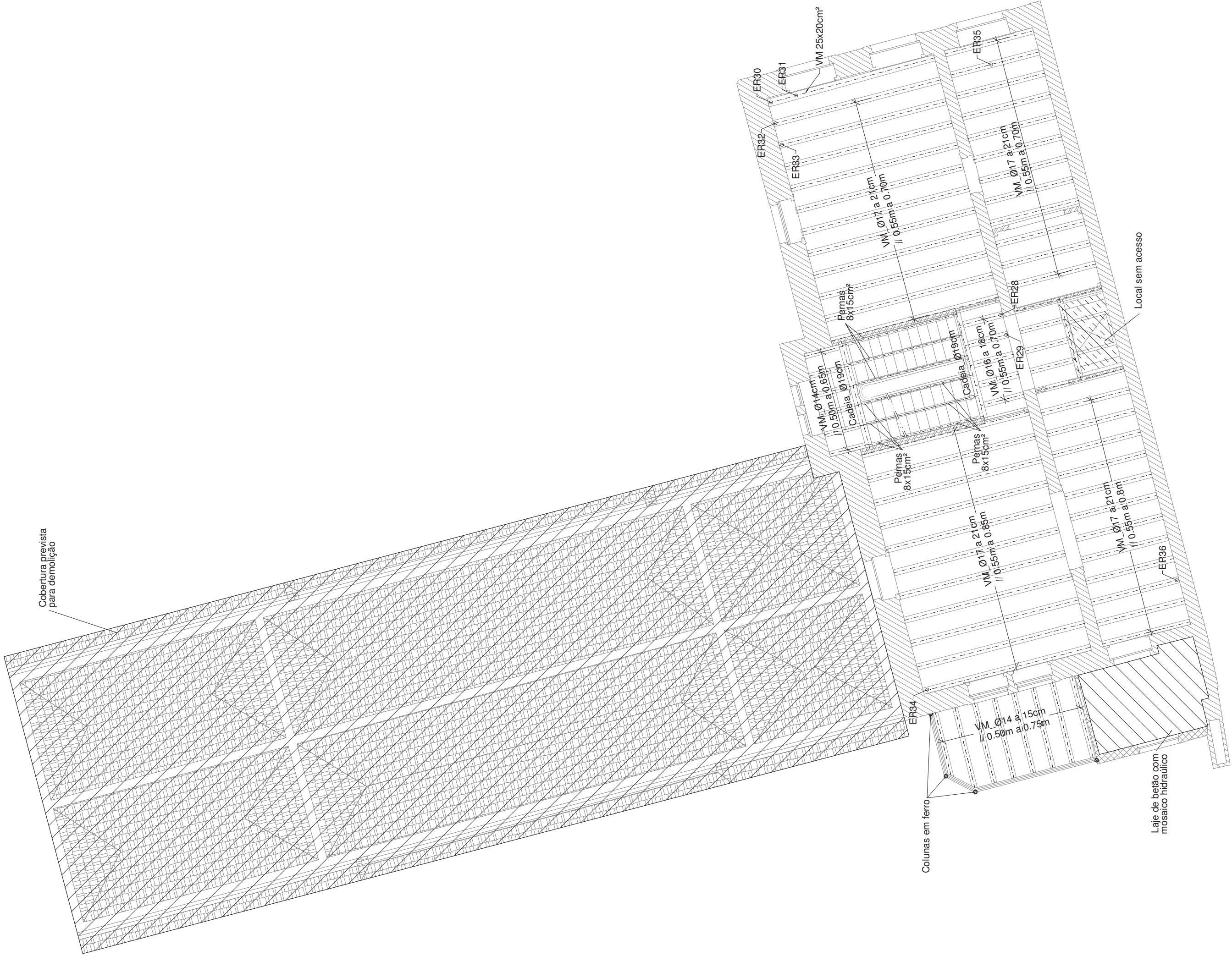
reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua ex-

---



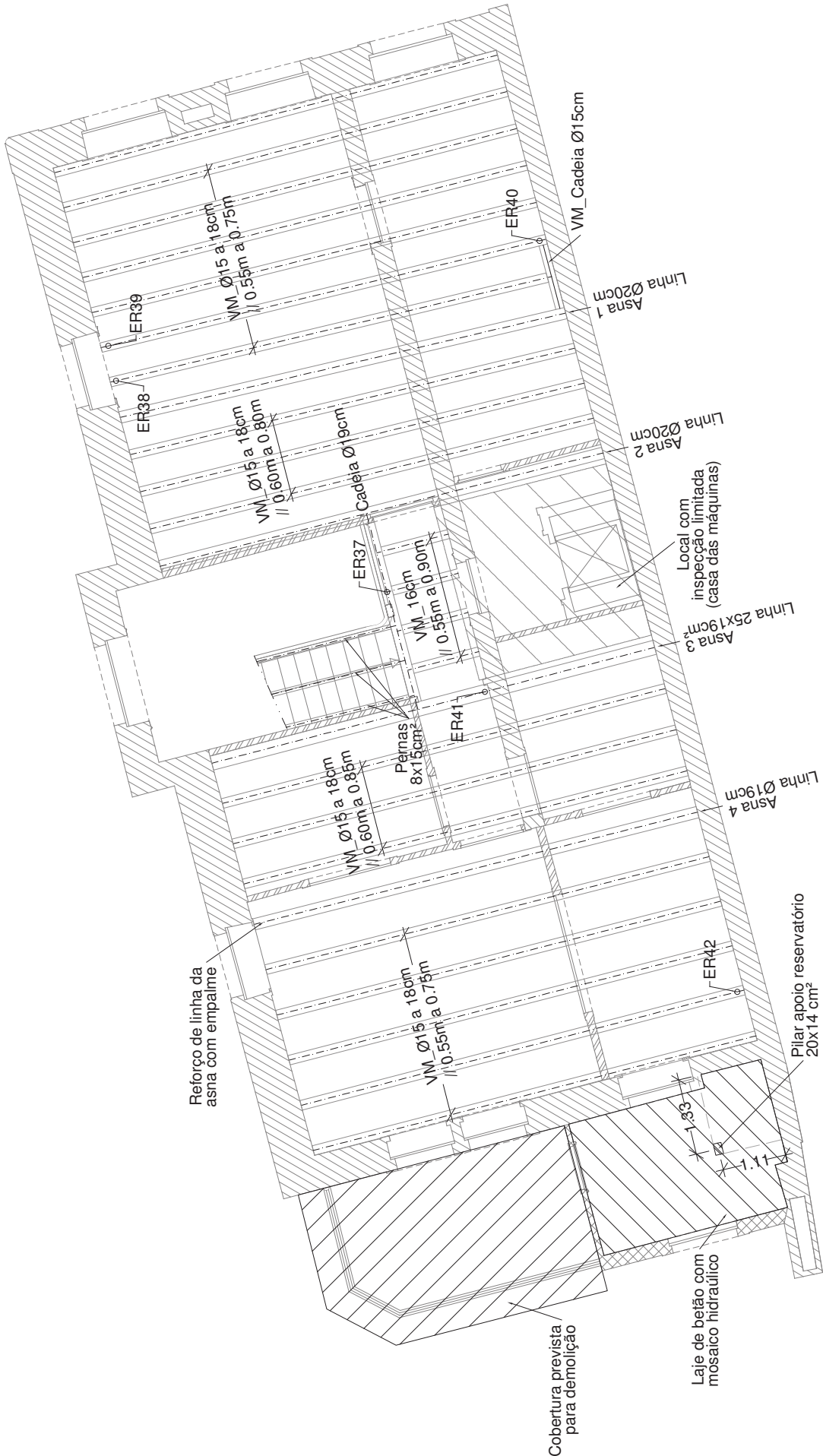
Planta estrutural do piso 3

Esc. 1:100



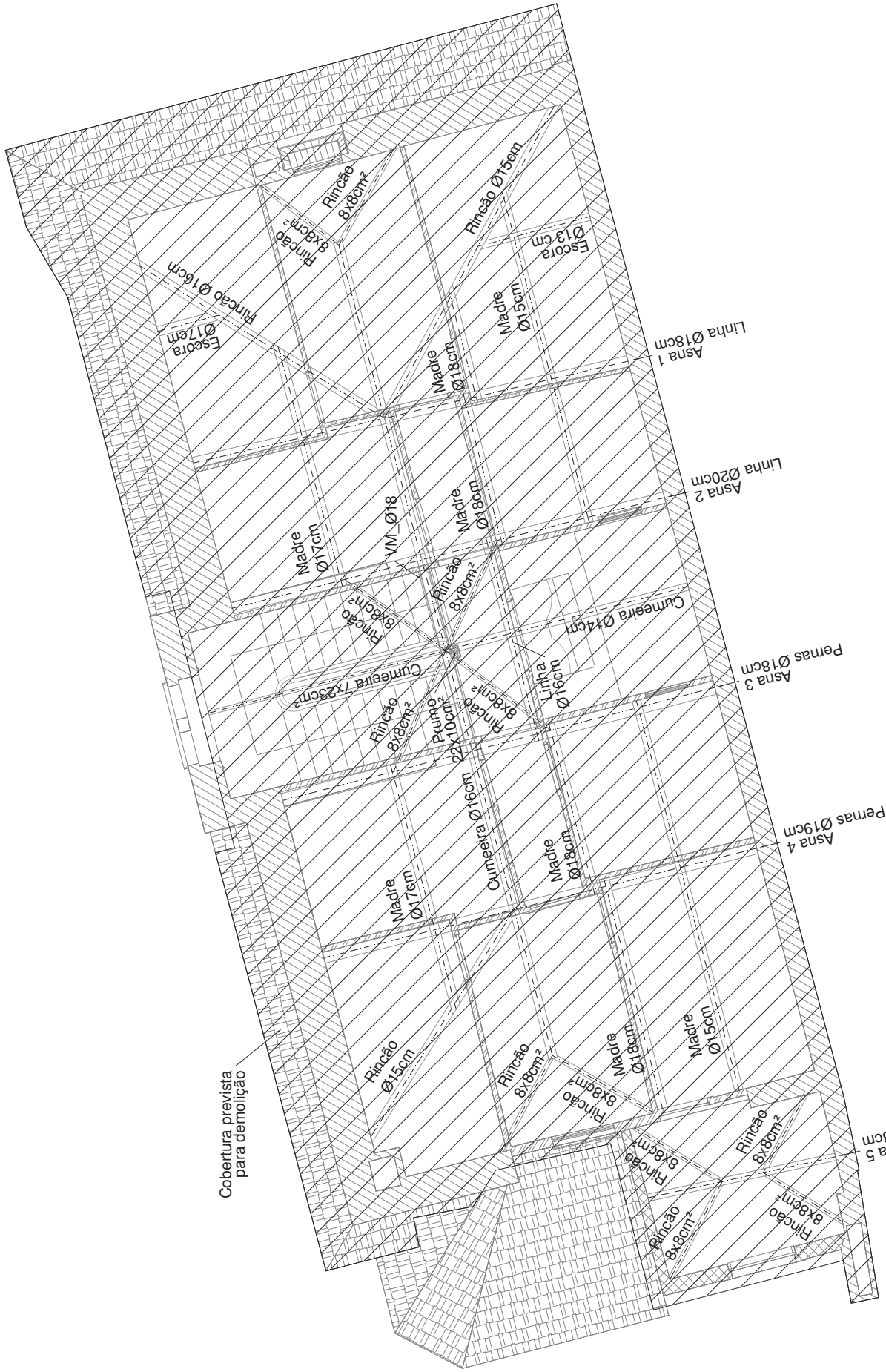
Planta estrutural do piso 4

Esc. 1:100



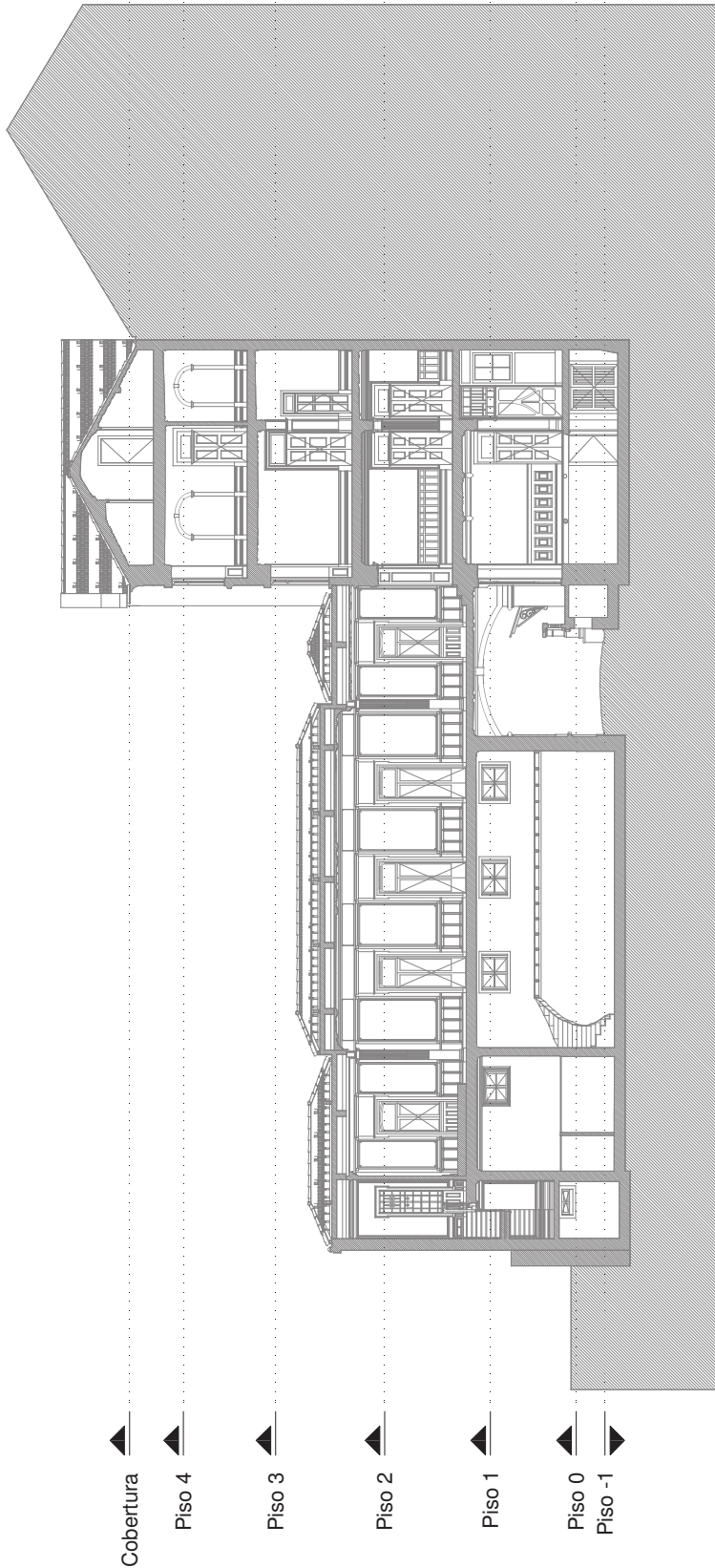
Planta estrutural da cobertura

Esc. 1:100



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Nota 1: Nos locais de sondagem efectuados foram detectados alargamentos da fundação, qualquer intervenção nestes elementos deverá ser efectuada antes da execução da obra, a ser realizada por uma equipa especializada.

Nota 2: As espessuras de paredes representadas resultam do levantamento de arquitectura. Durante as obras, deverá ser feita a verificação da espessura das paredes, qualquer espessura de parede deverá ser confirmada no local.



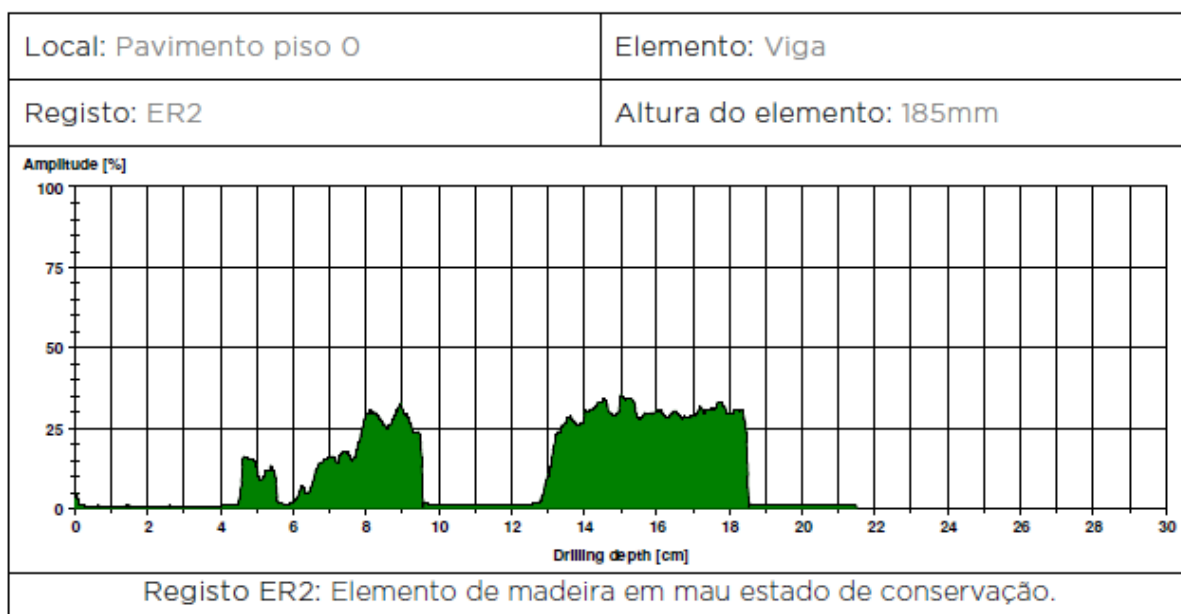
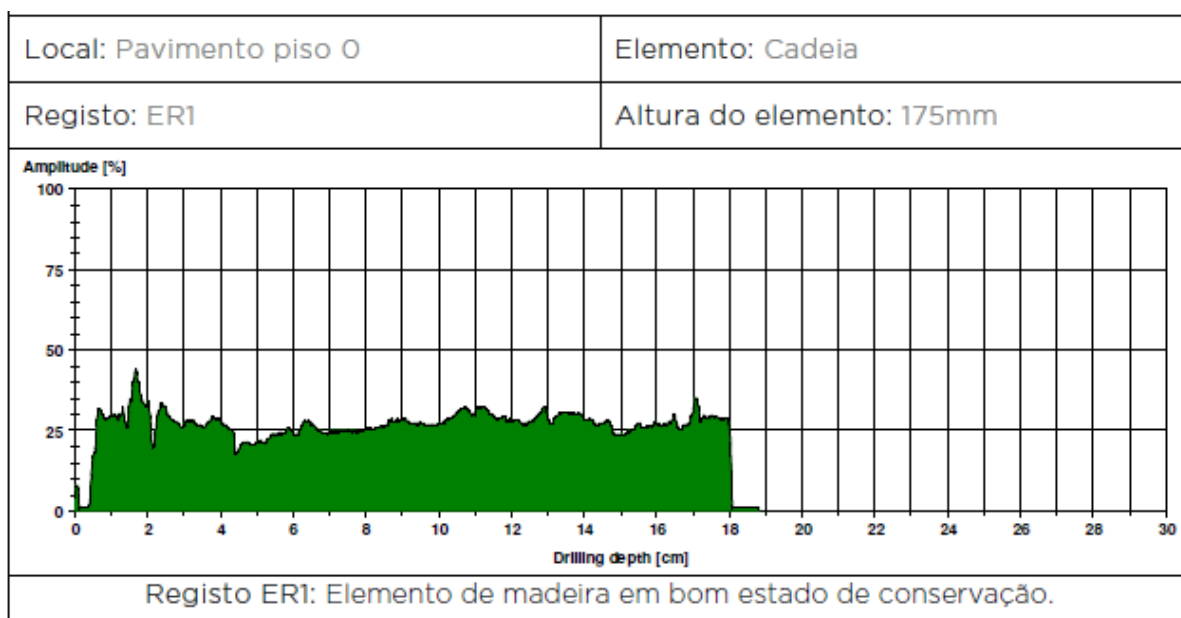


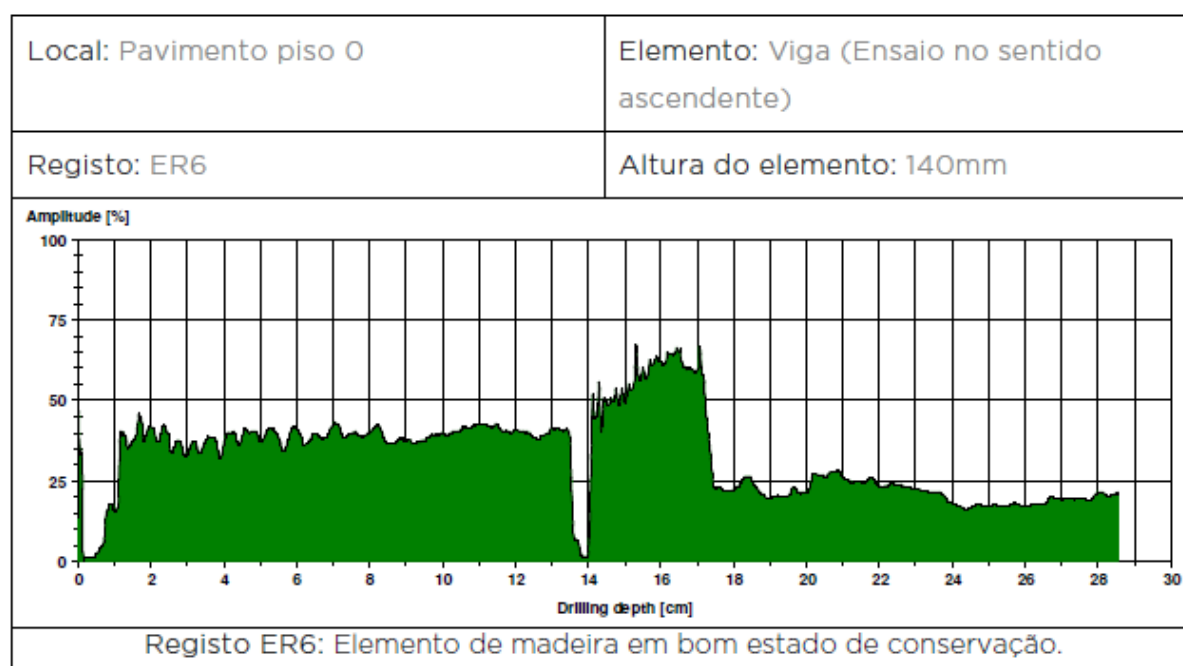
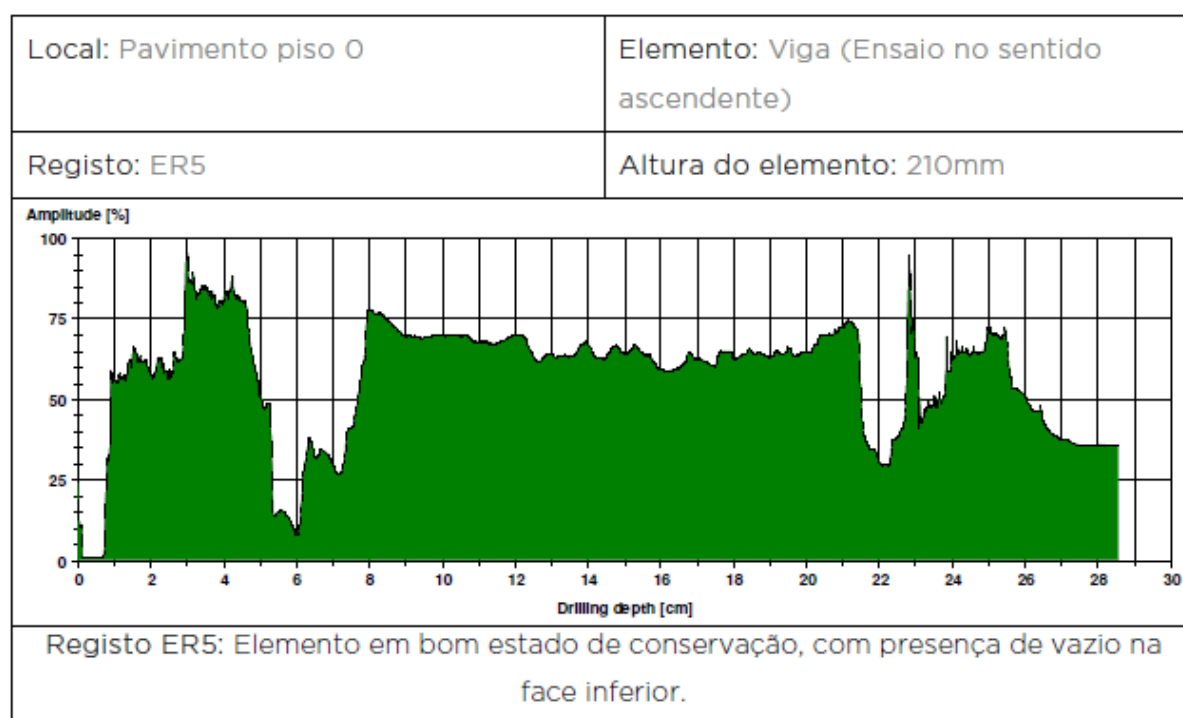
## **ANEXO II – ENSAIOS EM PEÇAS DE MADEIRA DO EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR (INSPEÇÃO 1)**

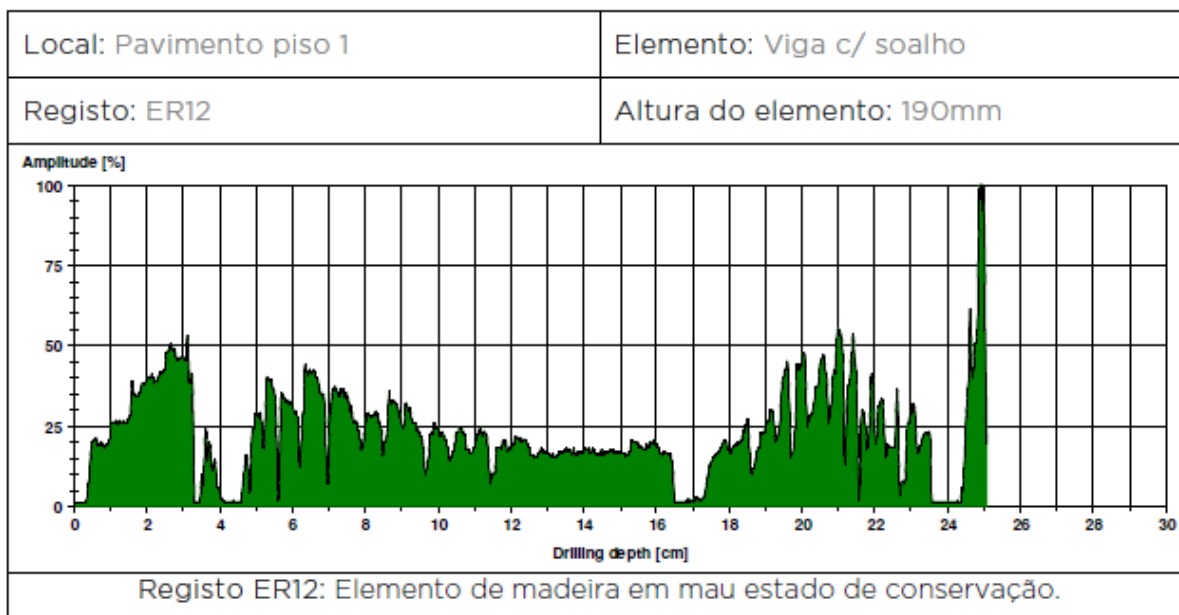
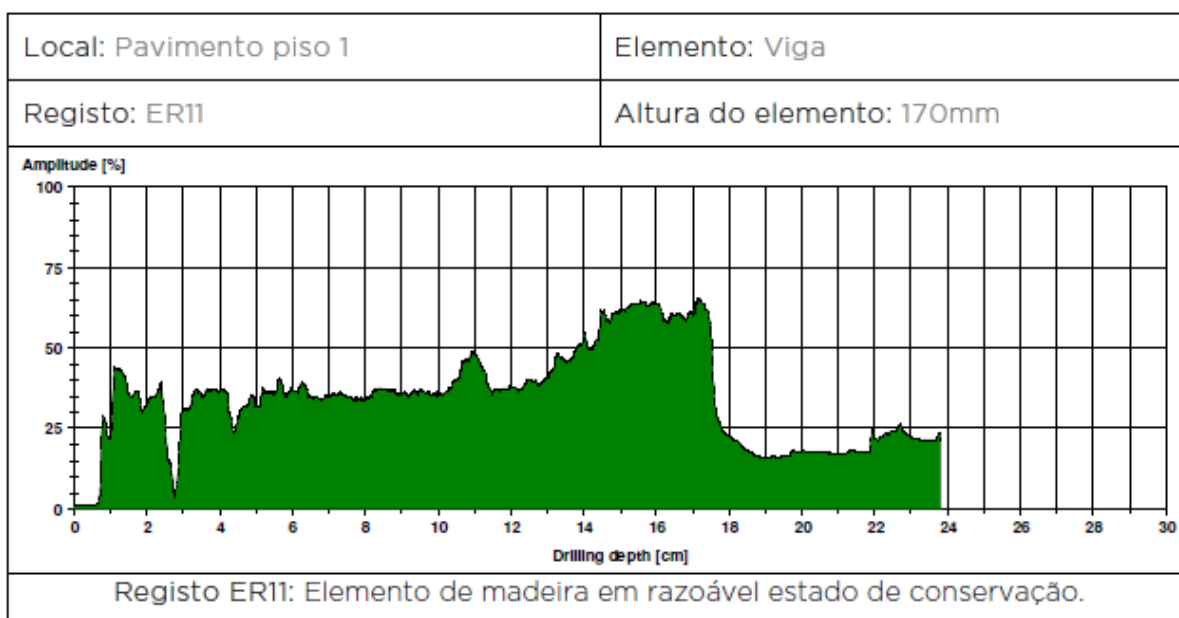


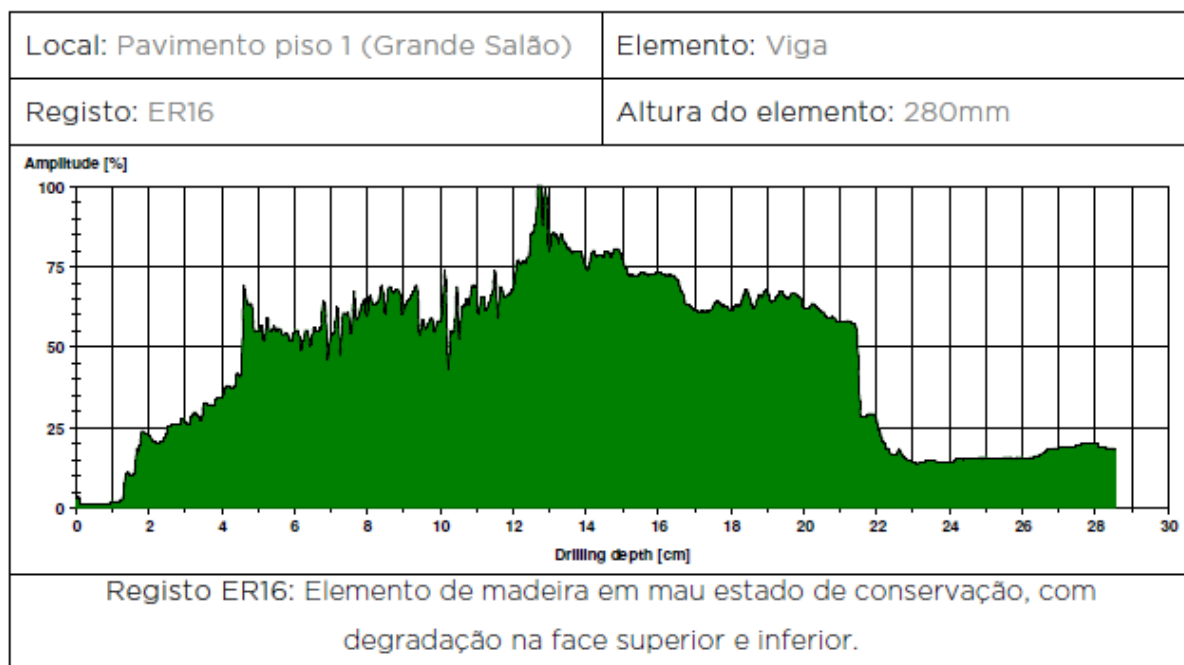
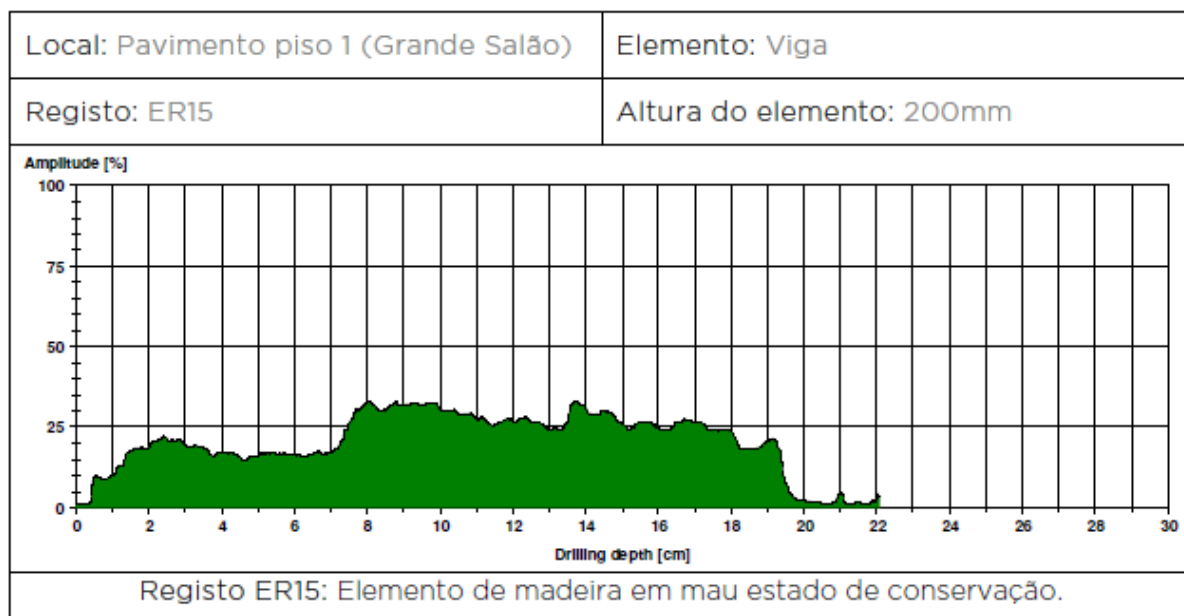


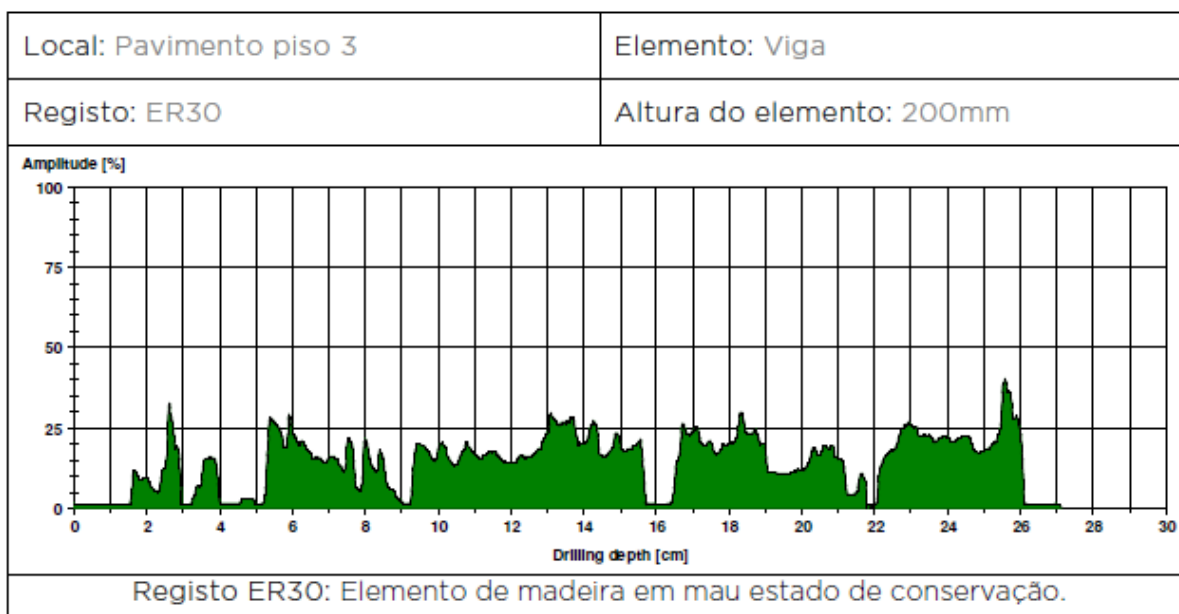
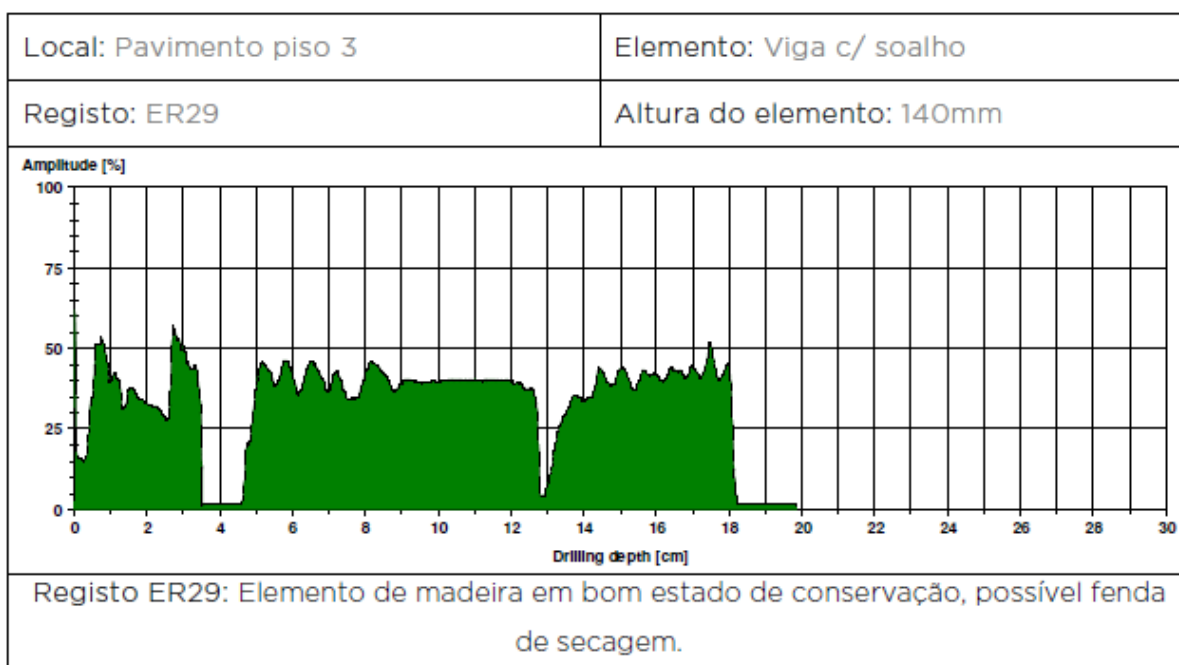
## Resultado dos ensaios realizados com registógrafo













## **ANEXO III – MAPEAMENTO DE DANOS DO EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR (INSPEÇÃO 1)**







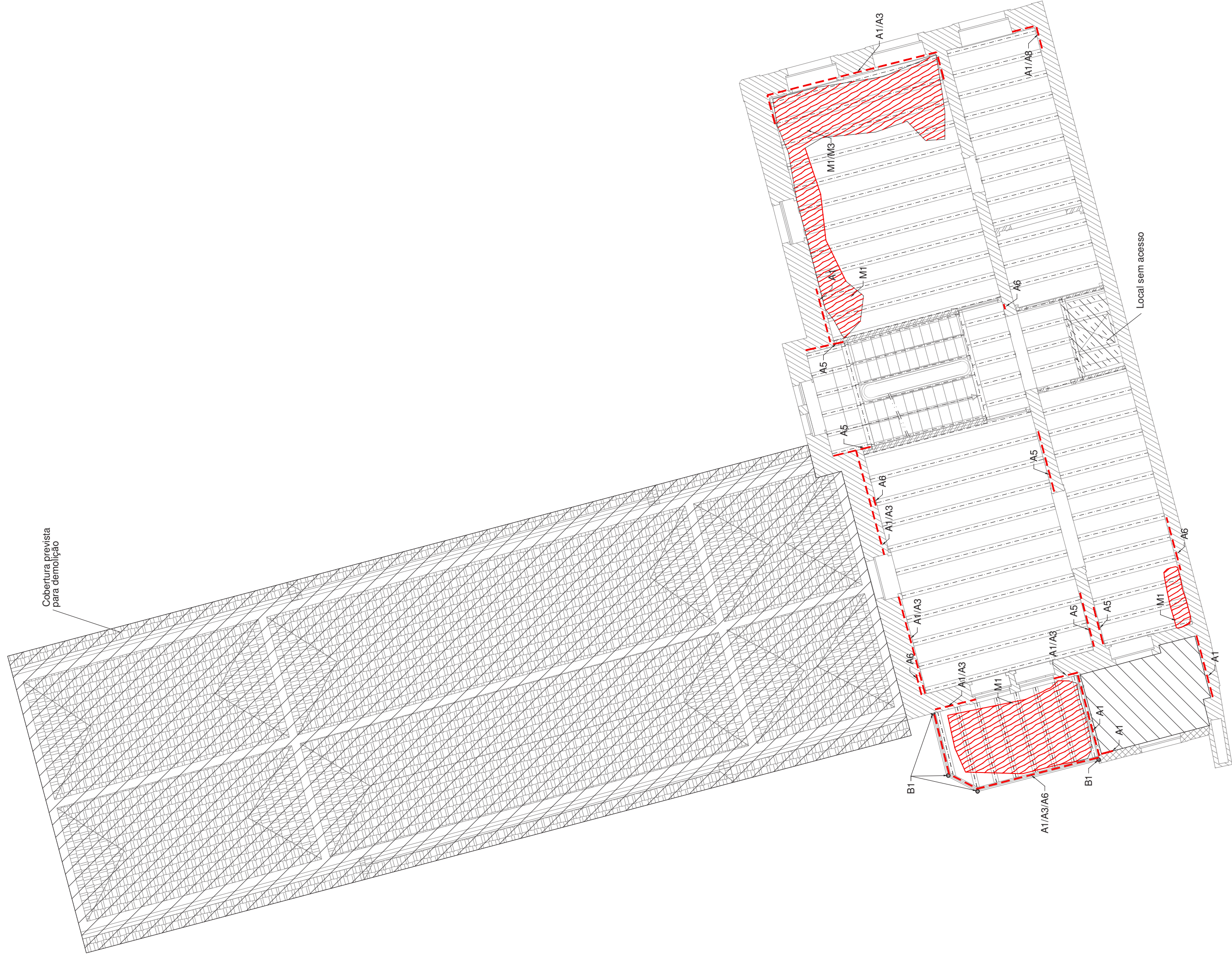






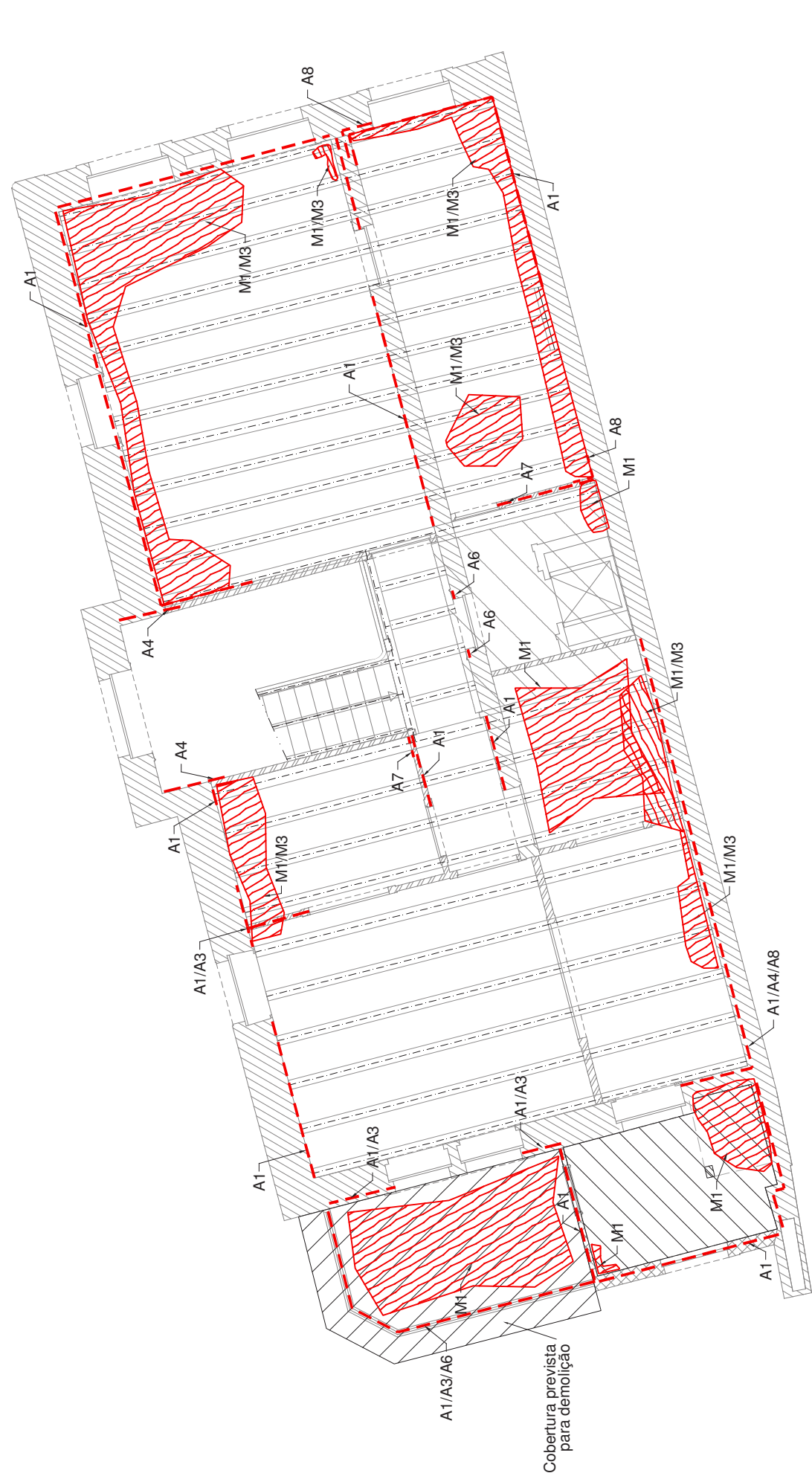
### Identificação de anomalias e danos no piso 3

Esc. 1:100



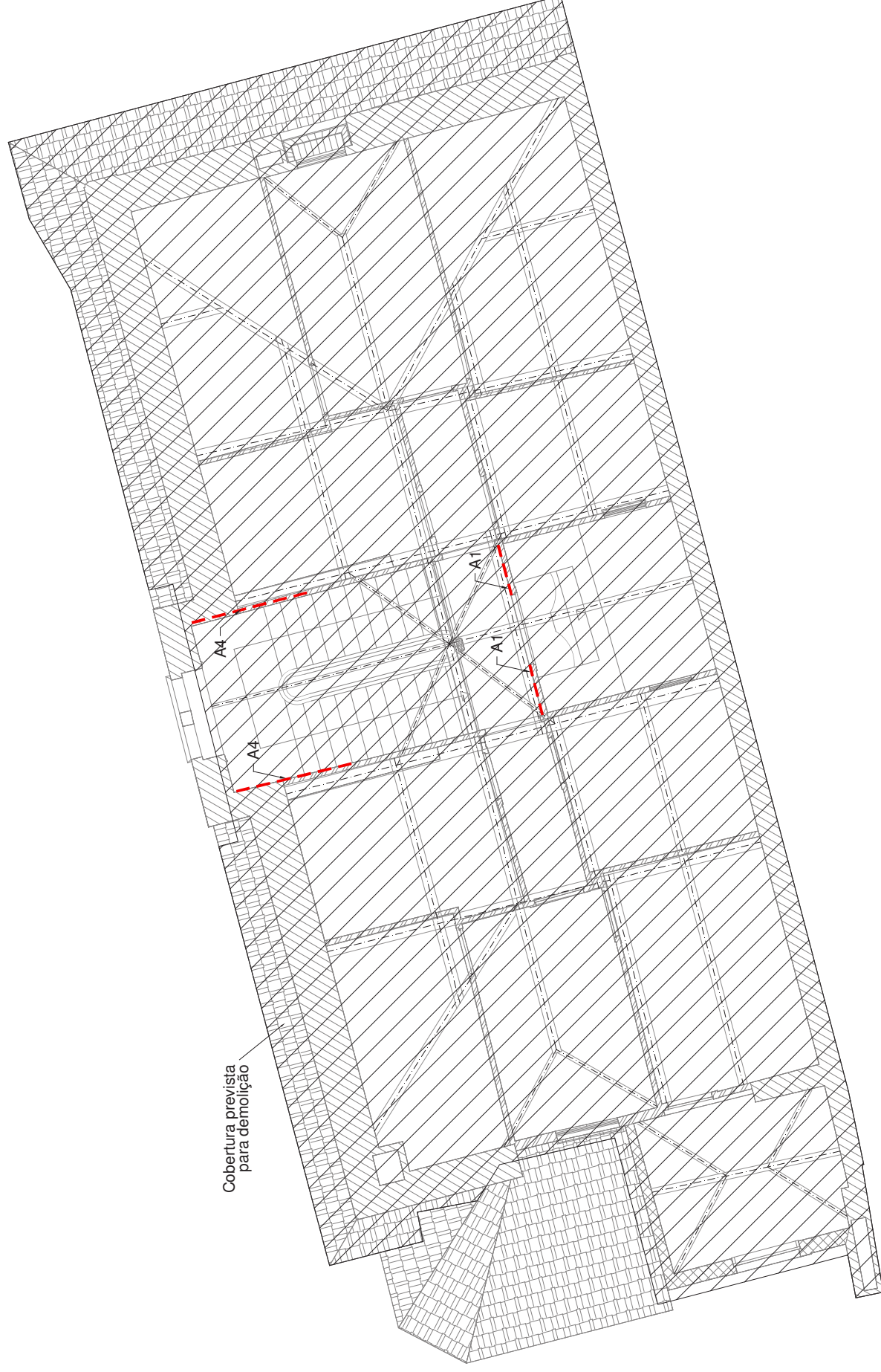
#### Identificação de anomalias e danos no piso 4

Esc. 1:100



## Identificação de anomalias e danos na cobertura

Esc. 1:100



**Nota :** Apenas foi analisado o estado de conservação dos elementos estruturais a manter no projecto de arquitectura

ANOMALIAS E DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS VERTICAIS	
A1	Manchas de humidade
A2	Fissuração em arco de pedra
A3	Presença ou degradadação por ataque de fungos
A4	Fissuração generalizada
A5	Fissuração diagonal
A6	Fissuração vertical

ANOMALIAS E DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS	
M1	Manchas de humidade
M2	Tiplos cerâmicos degradados com desagregação
M3	Presença ou degradadação por ataque de fungos
M4	Presença ou degradadação por ataque de caruncho
ELEMENTOS METÁLICOS	
B1	Oxidação/corrosão

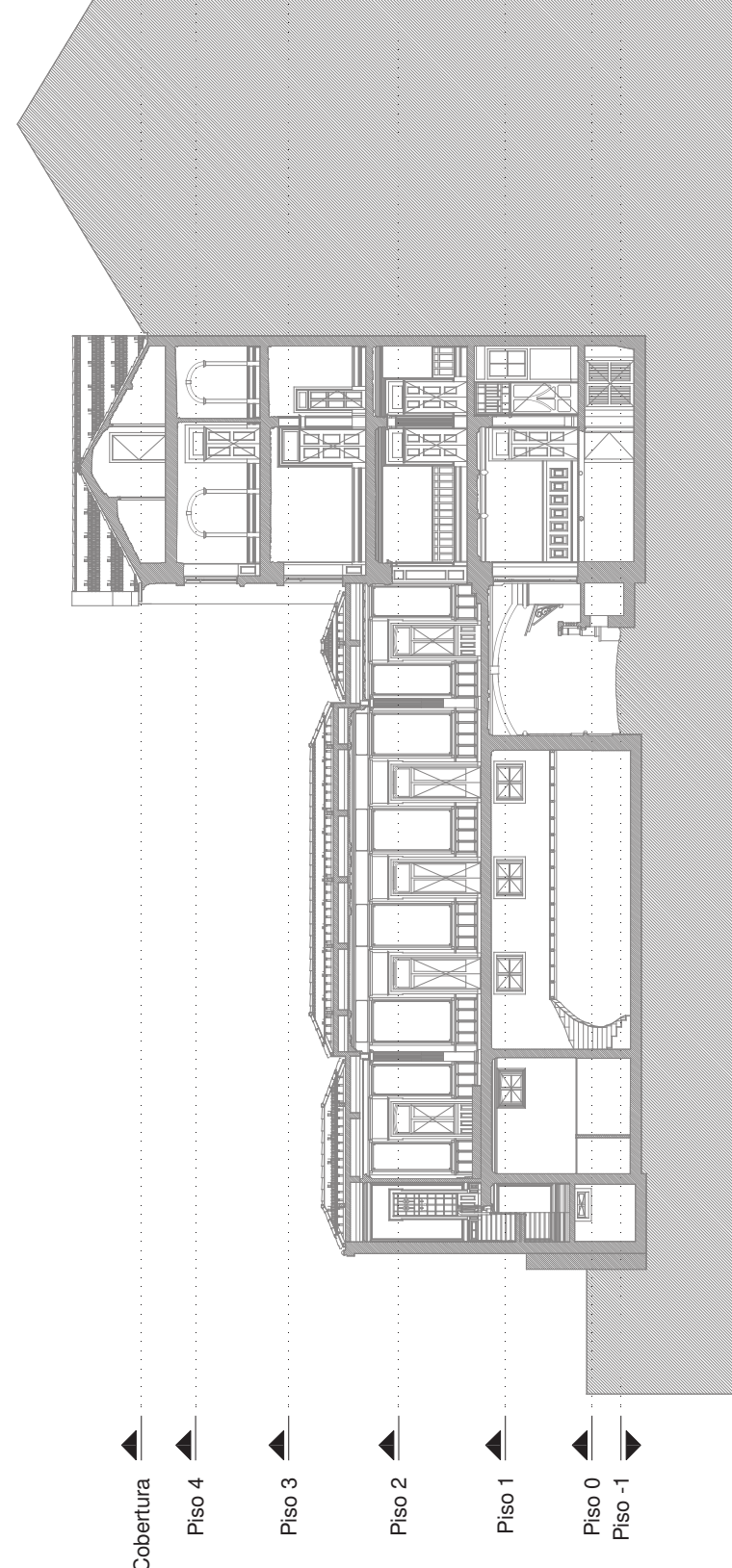
ANOMALIAS E DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS VERTICAIS	
A1	Manchas de humidade
A2	Fissuração em arco de pedra
A3	Presença ou degradadação por ataque de fungos
A4	Fissuração generalizada
A5	Fissuração diagonal
A6	Fissuração vertical

ANOMALIAS E DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS	
M1	Manchas de humidade
M2	Tiplos cerâmicos degradados com desagregação
M3	Presença ou degradadação por ataque de fungos
M4	Presença ou degradadação por ataque de caruncho
ELEMENTOS METÁLICOS	
B1	Oxidação/corrosão

### Nível de corte das plantas estruturais

Sem escada





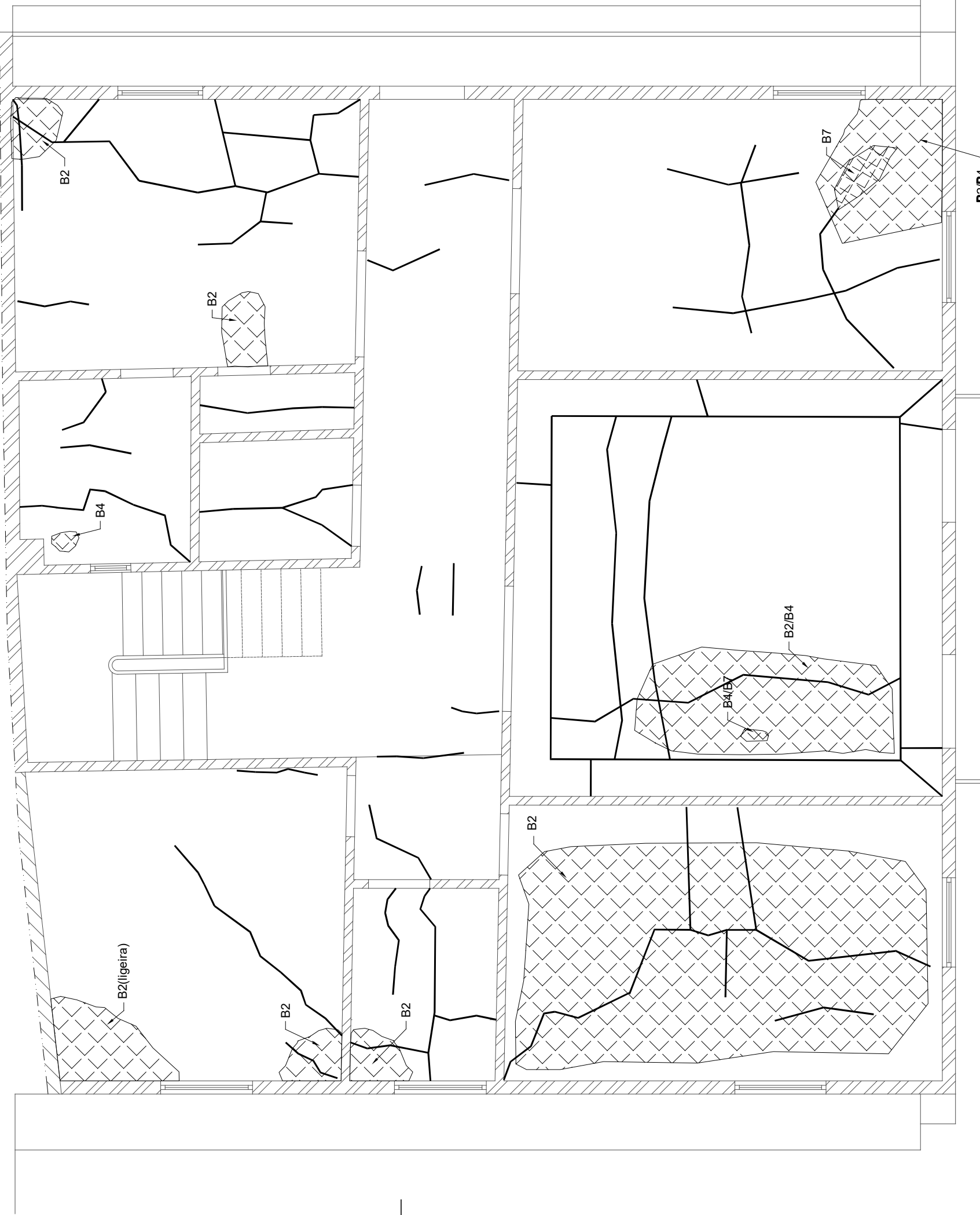


**ANEXO IV - PLANTAS ESTRUTURAIS, MAPEAMENTO DE DANOS E  
LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DO EDIFÍCIO DE UTILIZAÇÃO MISTA  
(INSPEÇÃO 2)**



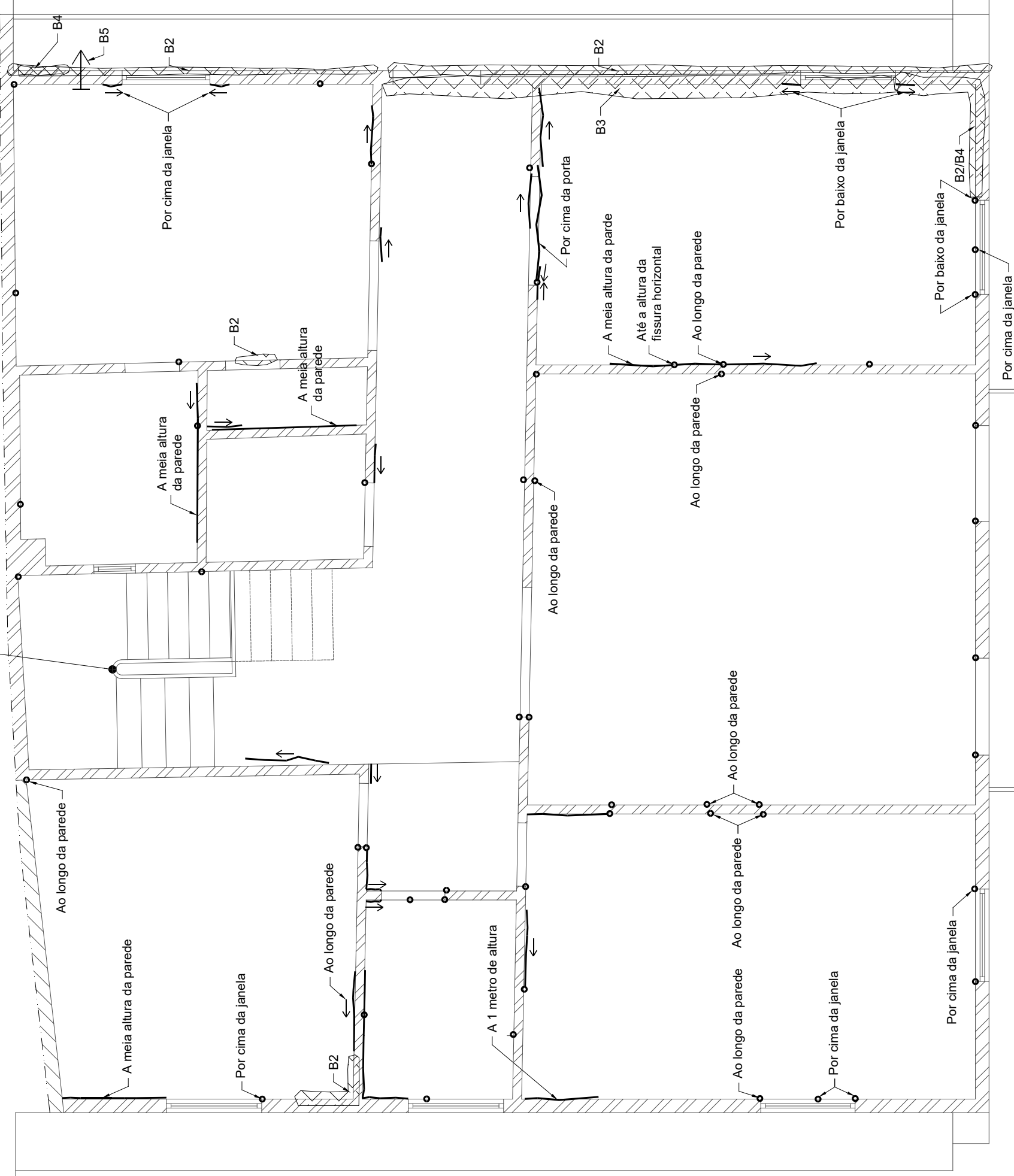
Mapeamento de danos (tectos) - Planta estrutural do piso 2

Esc. 1:50



Mapeamento de danos (paredes) - Planta estrutural do piso 2

Esc. 1:50

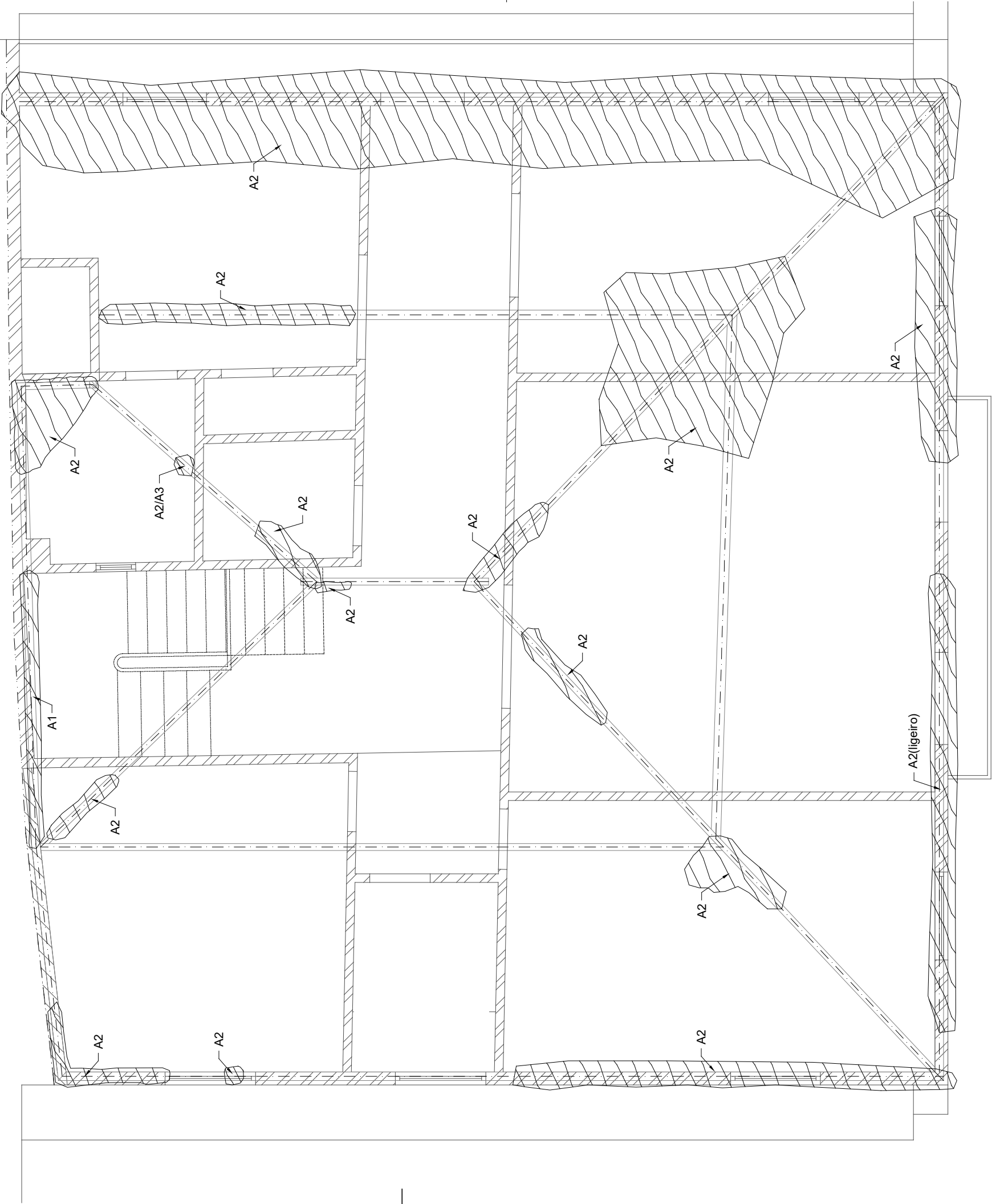


DANOS ESTRUTURAIS		
ESTRUTURA DE MADEIRA (Cobertura)		
A1 - Ataque de agentes bióticos (Caruncho)		
A2 - Ataque de agentes bióticos (fungos)		
A3 - Rotura		
ESTRUTURA DE MADEIRA (Paredes e tectos do piso 2)		
B1 - Fissuração	vertical •	horiz. / diagonal (seta indica sentido descendente no caso de fissuras diagonais)
B2 - Manchas de humidade		
B3 - Ataque de agentes bióticos (térmitas)		
B4 - Ataque de agentes bióticos (fungos)		
B5 - Deformação fora do plano		
B6 - Deformação do tecto (seta indica sentido da deformação descendente)		
B7 - Rotura do tecto estucado		

OBRA		DATA		FASE DO PROJECTO		RID	
Edifício Largo da Lapa, Arco de Valdevez		04/2018					
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural							
DESIGNAÇÃO		PROCESSO		ESCALA		DESENHO N.º	
Mapeamento de danos - Planta estrutural do piso 2 (tectos e paredes)		NCREP_0998P0218		1:50		02	
PROJECTO	DESENHO	APROVOU	VERIFICOU				
-	AP. JS	AAC	AAC				
Este documento é propriedade da NCREP - Consultoria em Realização do Edifício e Património. Lida não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.							
				<b>NCREP</b>			
				<b>OEP</b>			

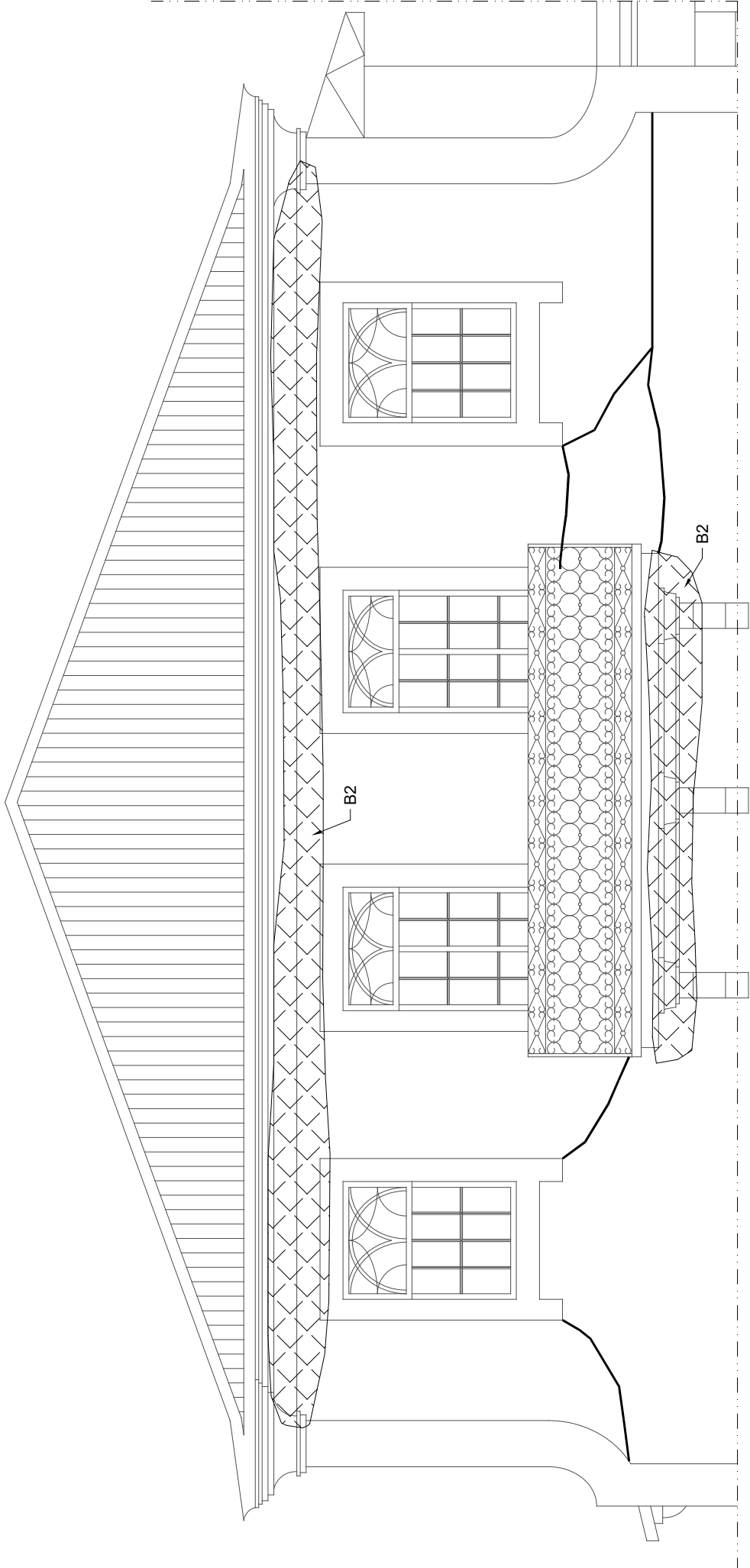
Mapeamento de danos - Planta estrutural da Cobertura

Esc. 1:50



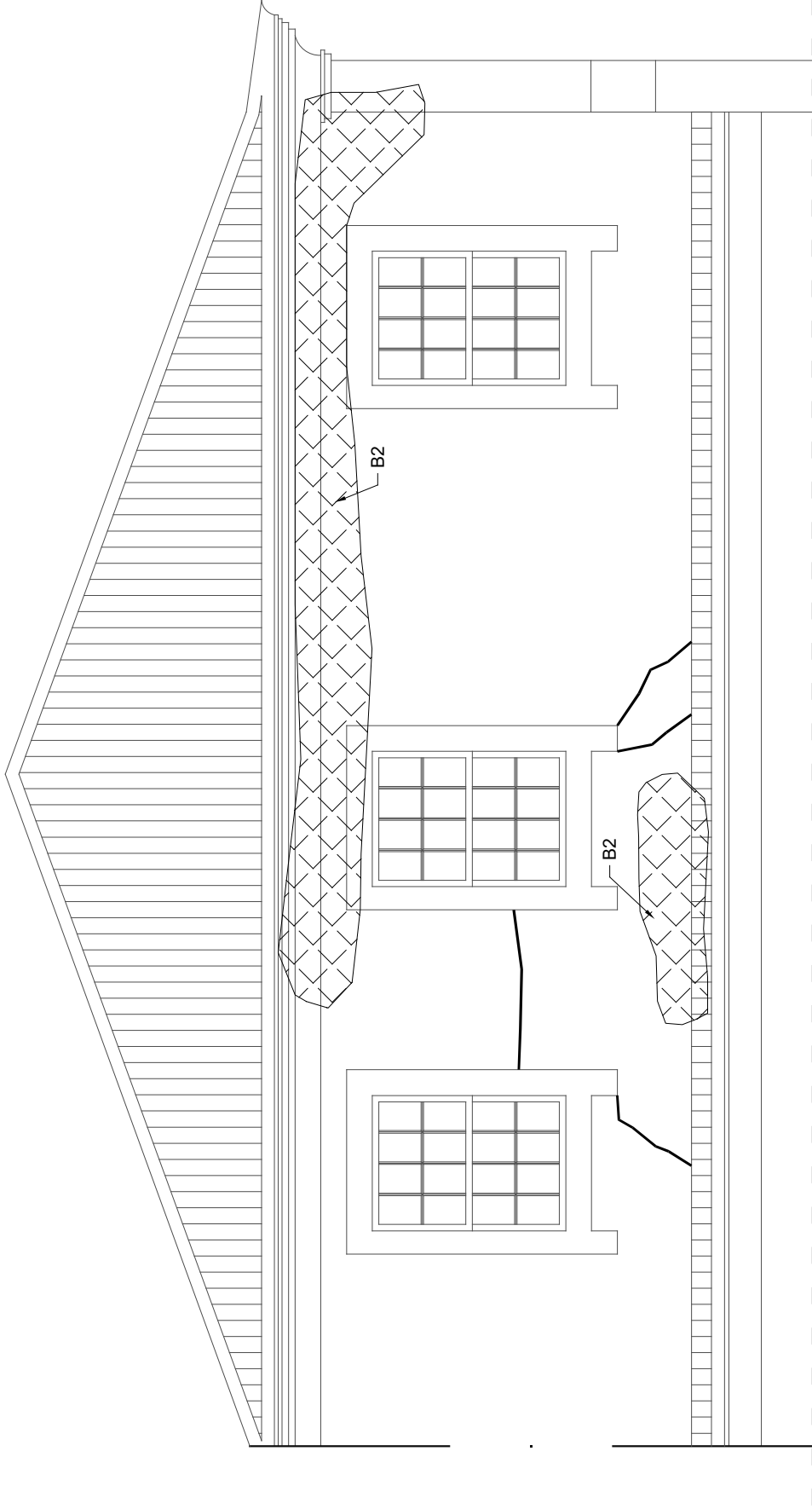
Alçado Poente


Esc. 1:50



Alçado Norte

Esc. 1:50



DANOS ESTRUTURAIS		
ESTRUTURA DE MADEIRA (Cobertura)		
A1 - Ataque de agentes bióticos (Caruncho)		
A2 - Ataque de agentes bióticos (fungos)		
A3 - Rotura		
ESTRUTURA DE MADEIRA (Paredes e tectos do piso 2)		
B1 - Fissuração	vertical •	
	horiz. / diagonal (seta indica sentido descendente no caso de fissuras diagonais)	
B2 - Manchas de humidade		
B3 - Ataque de agentes bióticos (térmitas)		
B4 - Ataque de agentes bióticos (fungos)		
B5 - Deformação fora do plano		
B6 - Deformação do tecto (seta indica sentido da deformação descendente)		
B7 - Rotura do tecto estucado		

OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO	
Edifício Largo da Lapa, Arco de Valdevez		04/2018	R/D	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural				
DESIGNAÇÃO		PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º
Mapeamento de danos - Cobertura e Fachadas		NCREP_0998P0218	1:50	03
PROJECTO		DESENHO	APROVOU	VERIFICOU
-		AP JS	AAC	AAC
Este documento é propriedade da NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edifício e Património. Lida não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.				
			NCREP	

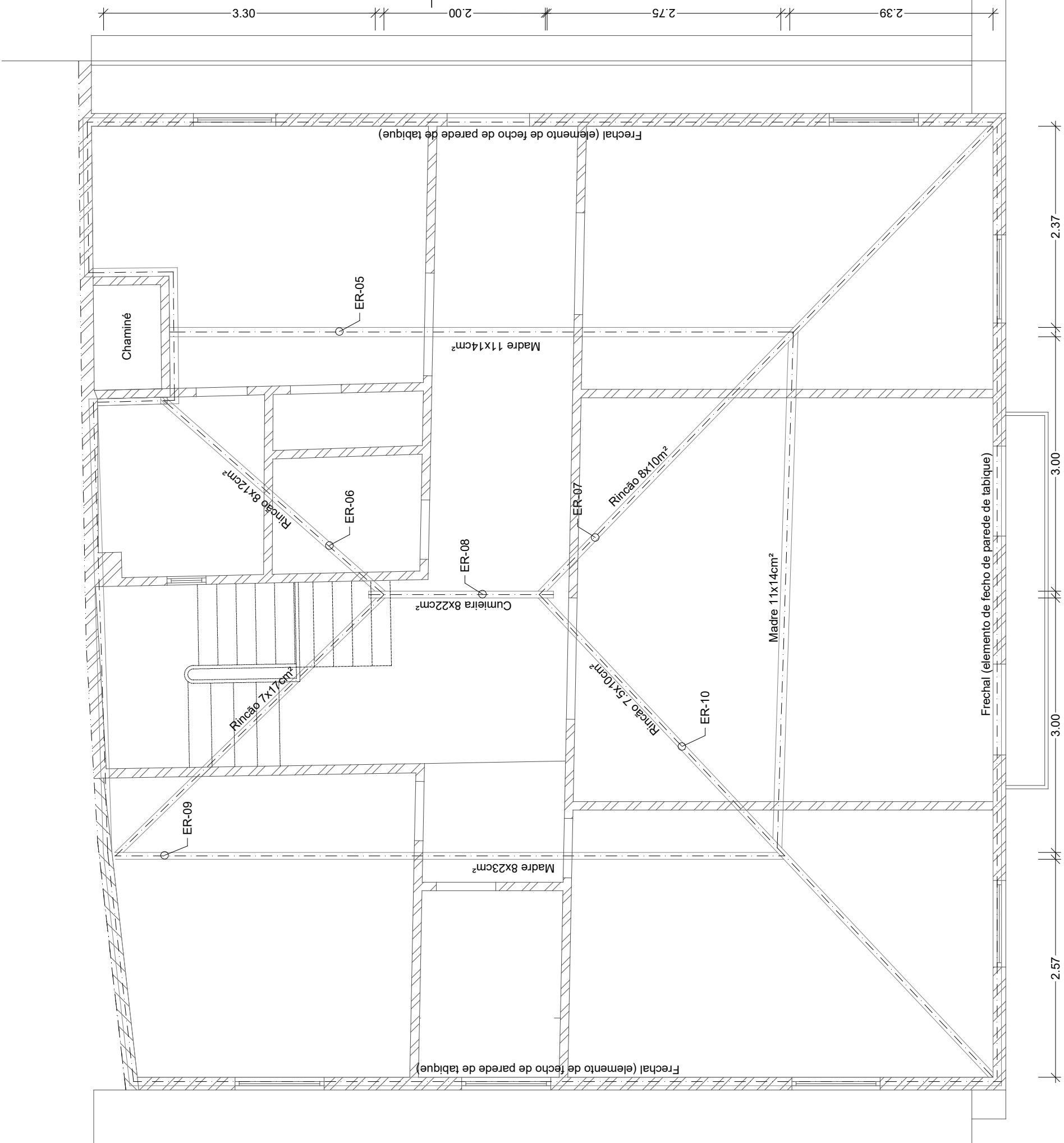
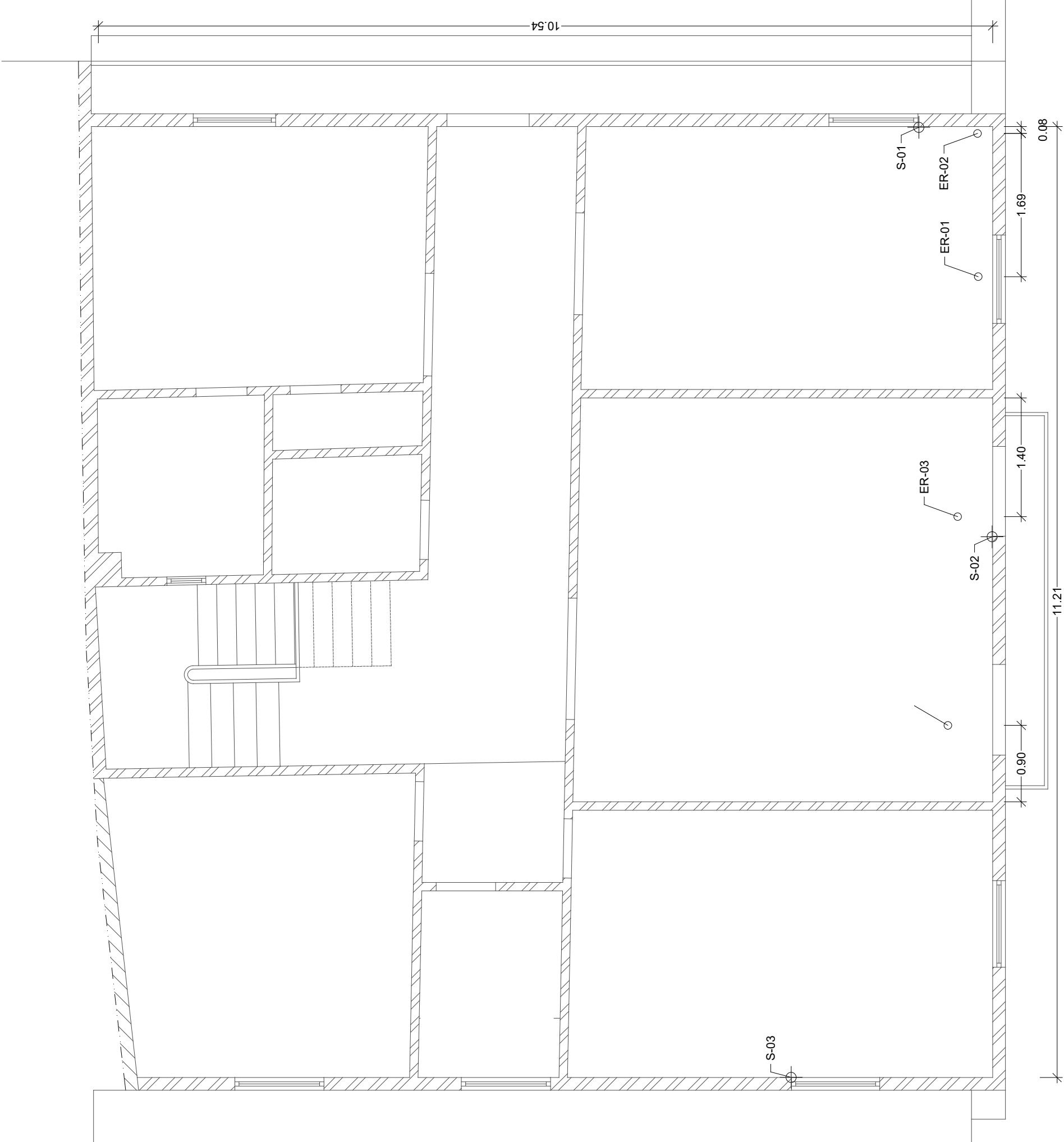


Planta estrutural do piso 2

Esc. 1:50

Planta estrutural da Cobertura

Esc. 1:50



Legenda

- Parade de alvenaria de pedra existente
- Parade em tabique existente

OBRA		FASE DO PROJECTO	
Edifício Largo da Lapa, Arco de Valdevez		R/D	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		REV. N.º	
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º
Levantamento Estrutural - Planta estrutural do piso 2 e cobertura	NCREP_0996P0218	1:50	01
PROJECTO	DISENHO	APROVOU	VERIFICOU
-	AP. JS	AAC	AAC
Este documento é propriedade da NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edifício e Património, Lda não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.			
NCREP		NCR	



**ANEXO V – DOCUMENTAÇÃO EXTRAÍDA DO SOFTWARE REVIT (PLANTAS,  
CORTES, ALÇADOS E DESENHOS DE PORMENORES DO CASO DE ESTUDO)**





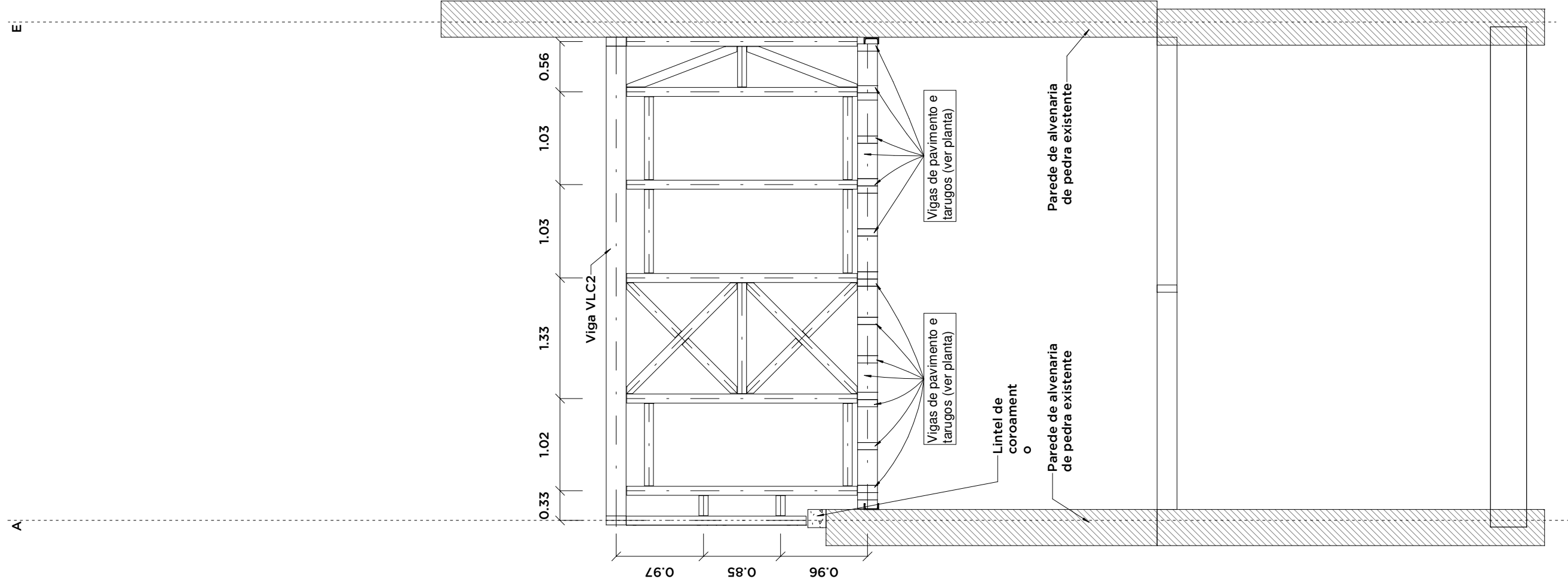






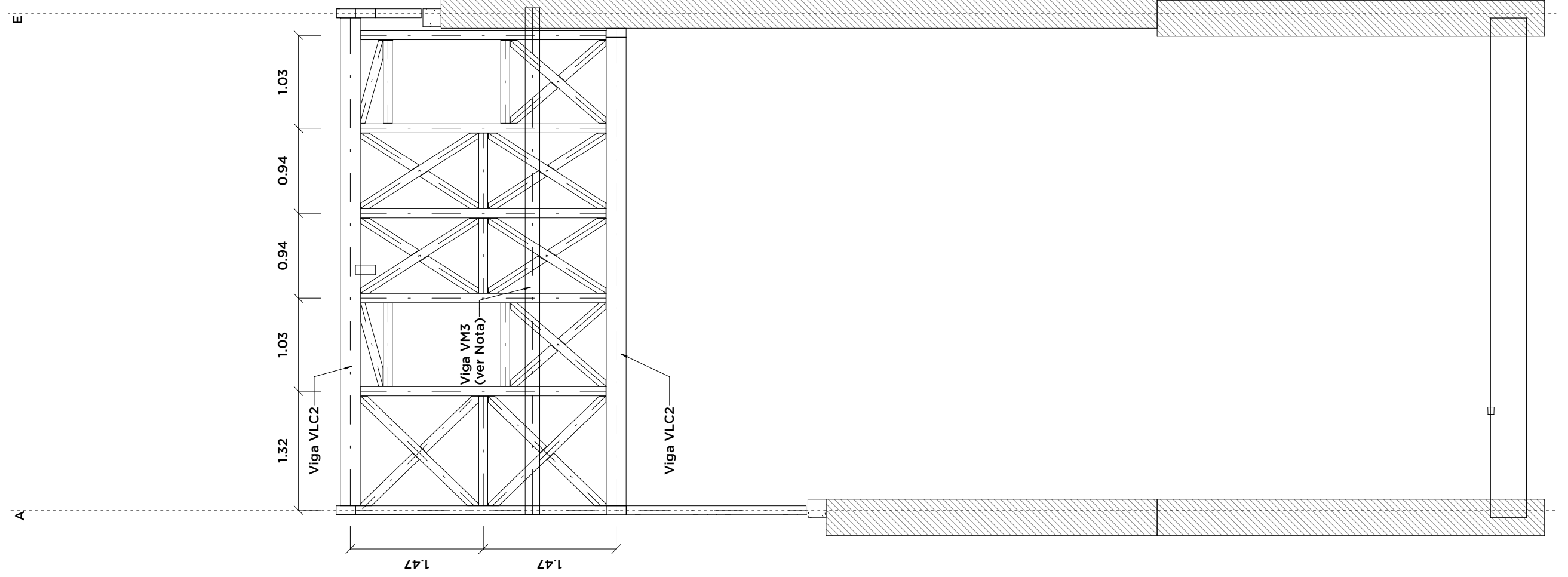
## Parede alinhamento 2

1 : 50



### Parede alinhamento 3

1:50



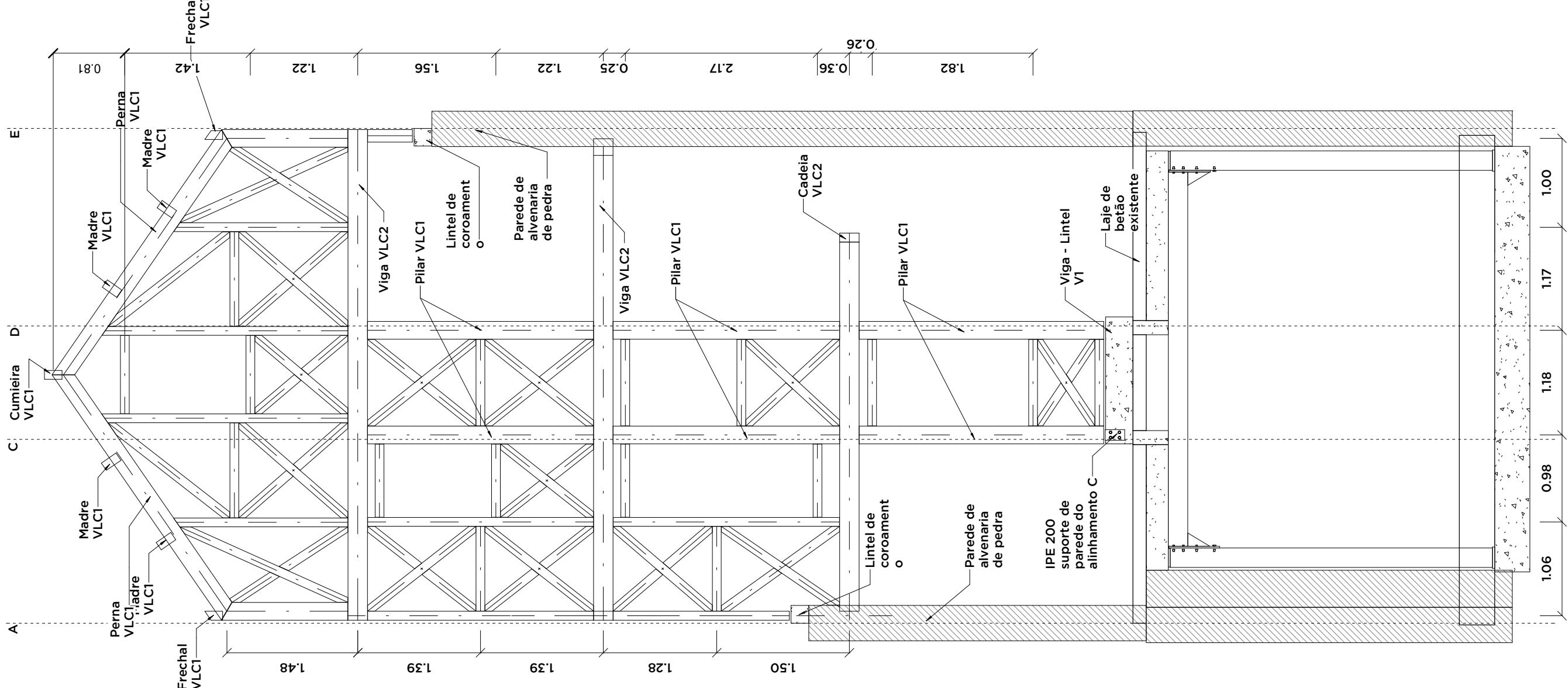
#### Parede alinhamento 4

1:50



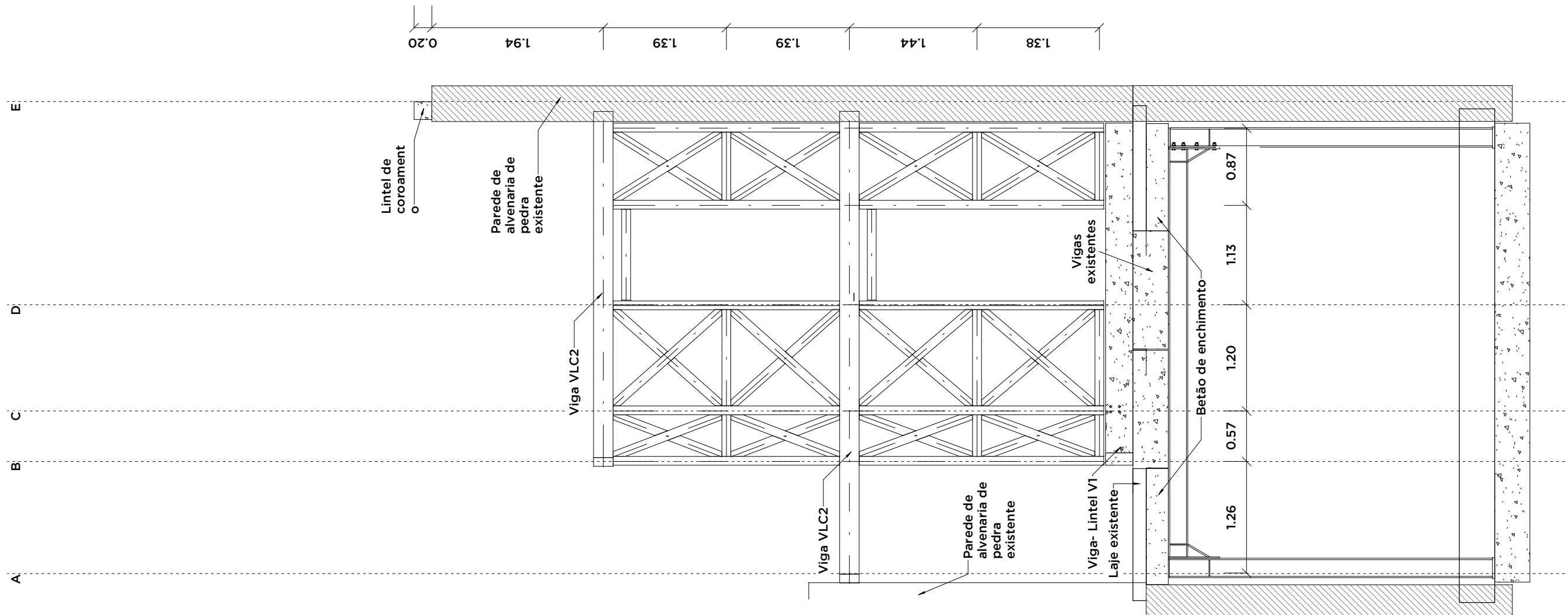
## Parede alinhamento 8

1:50



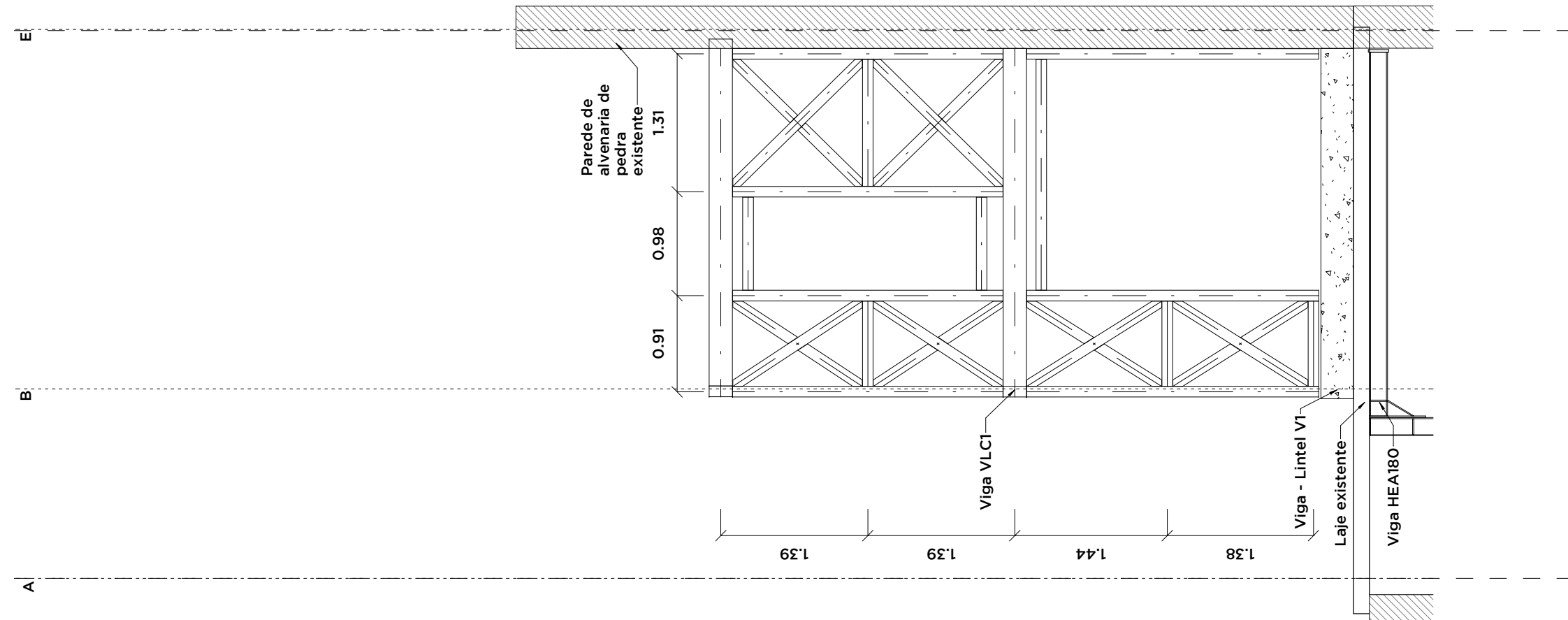
## Parede alinhamento 9

1:50



urede alinhamento 10

50





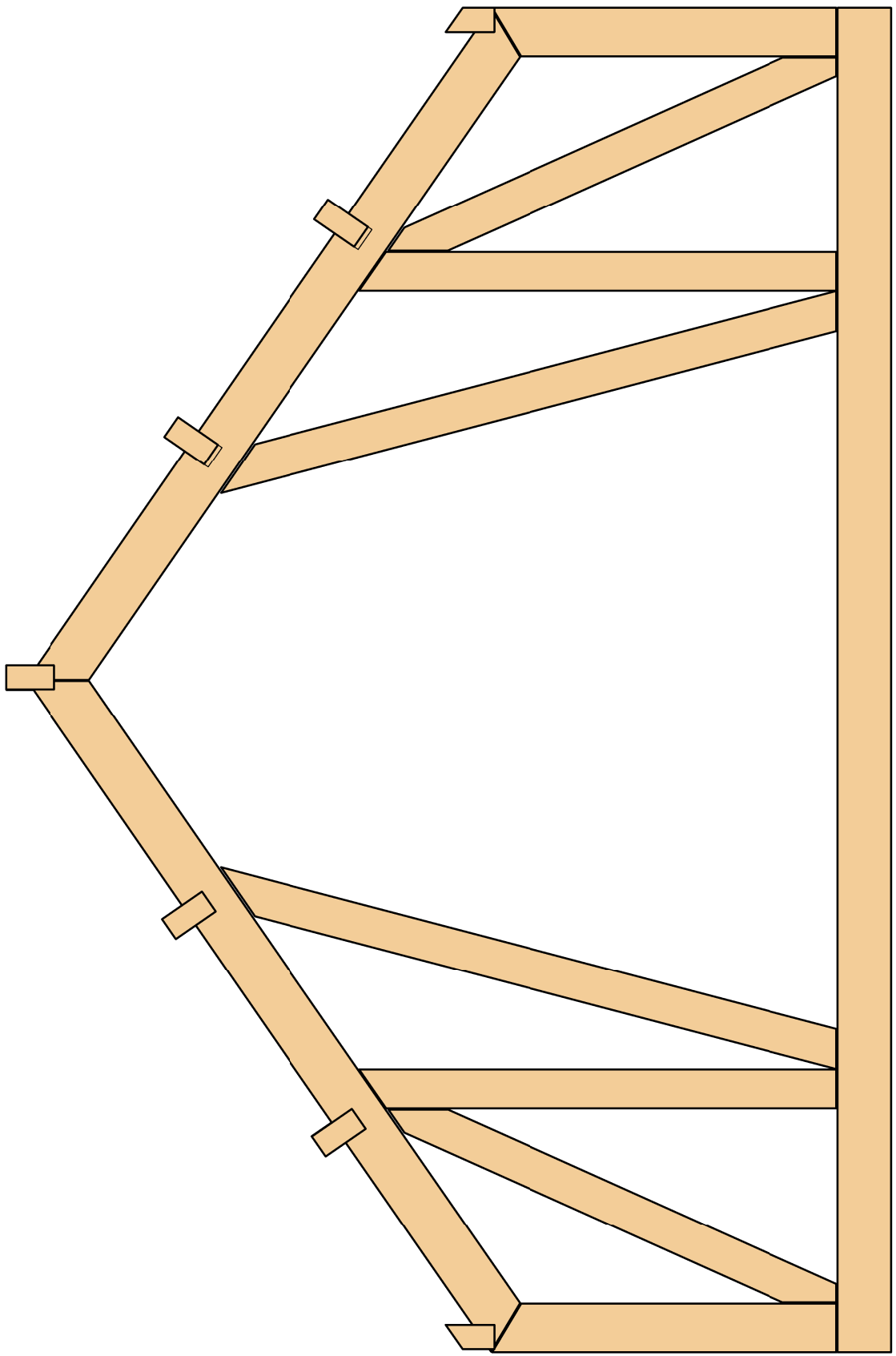




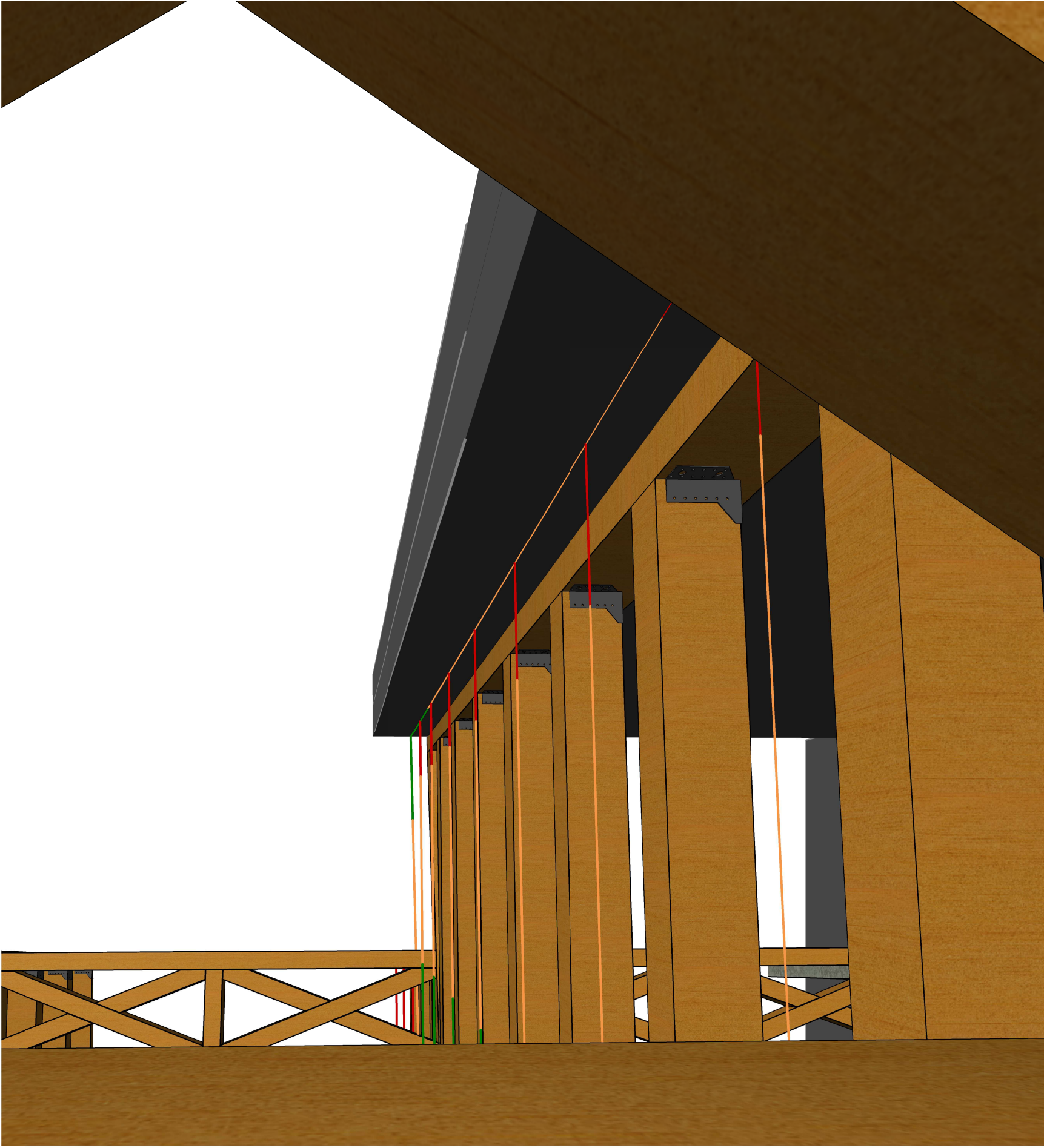




asna tipo  
1:25



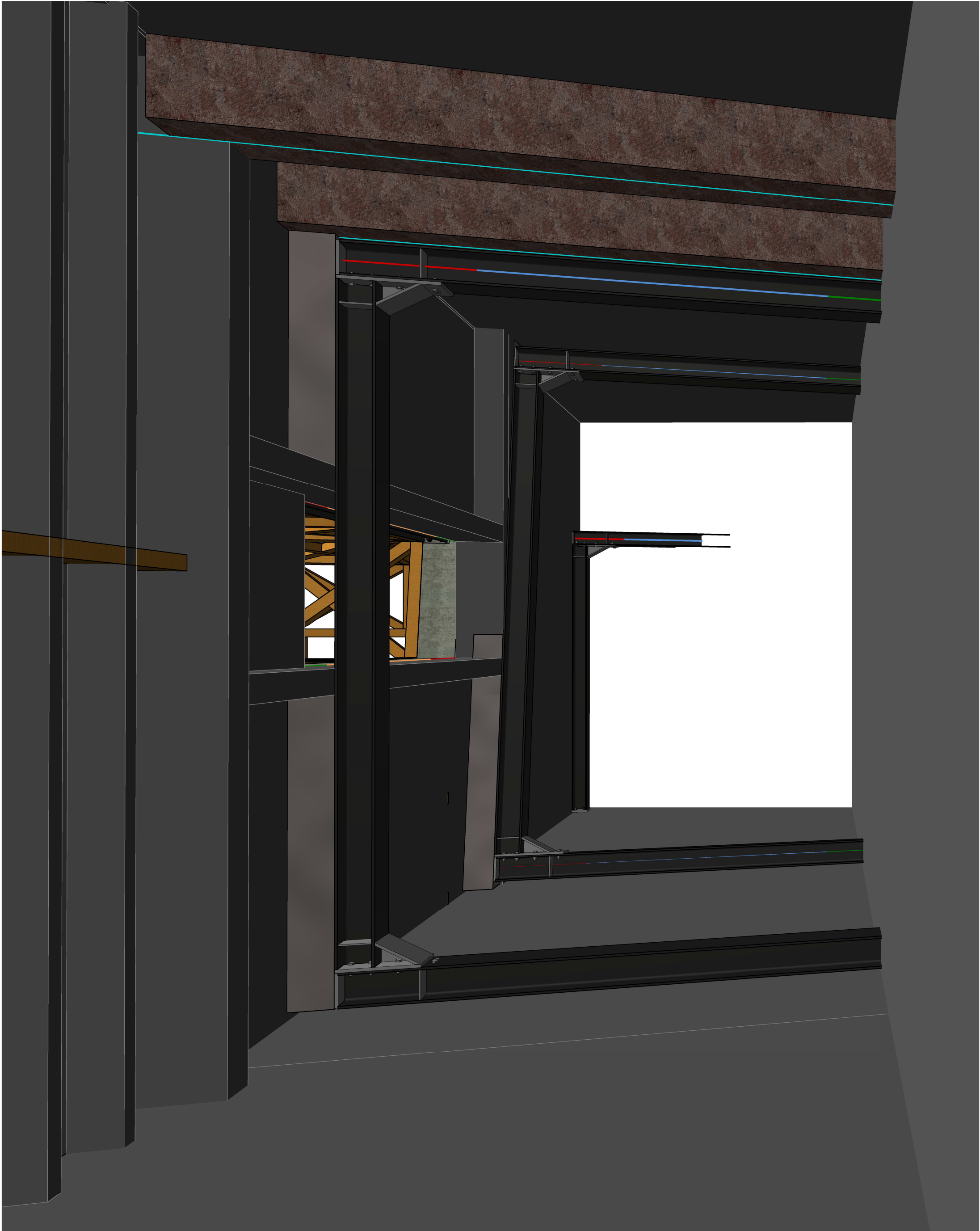
PMa01



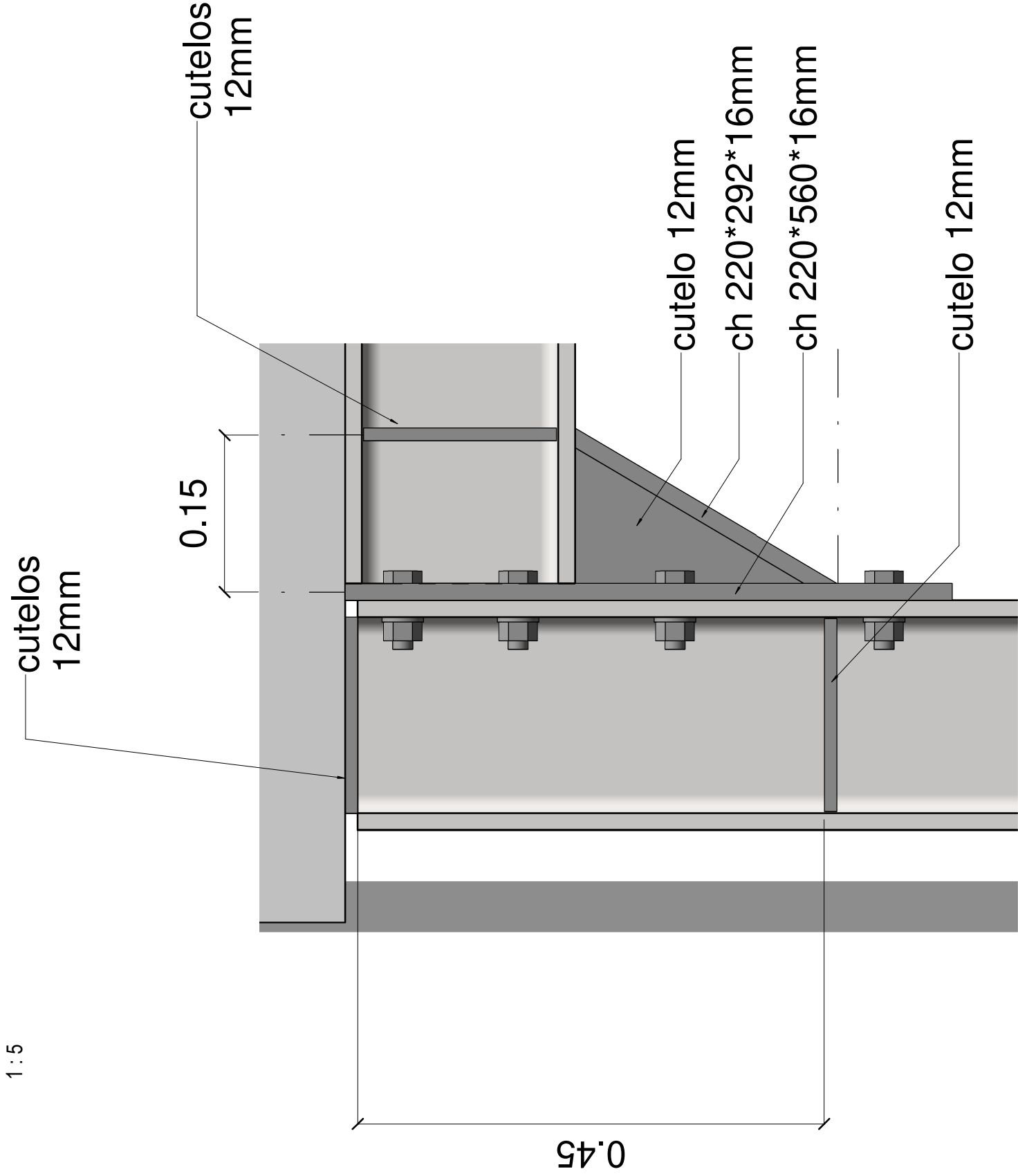
PMe07



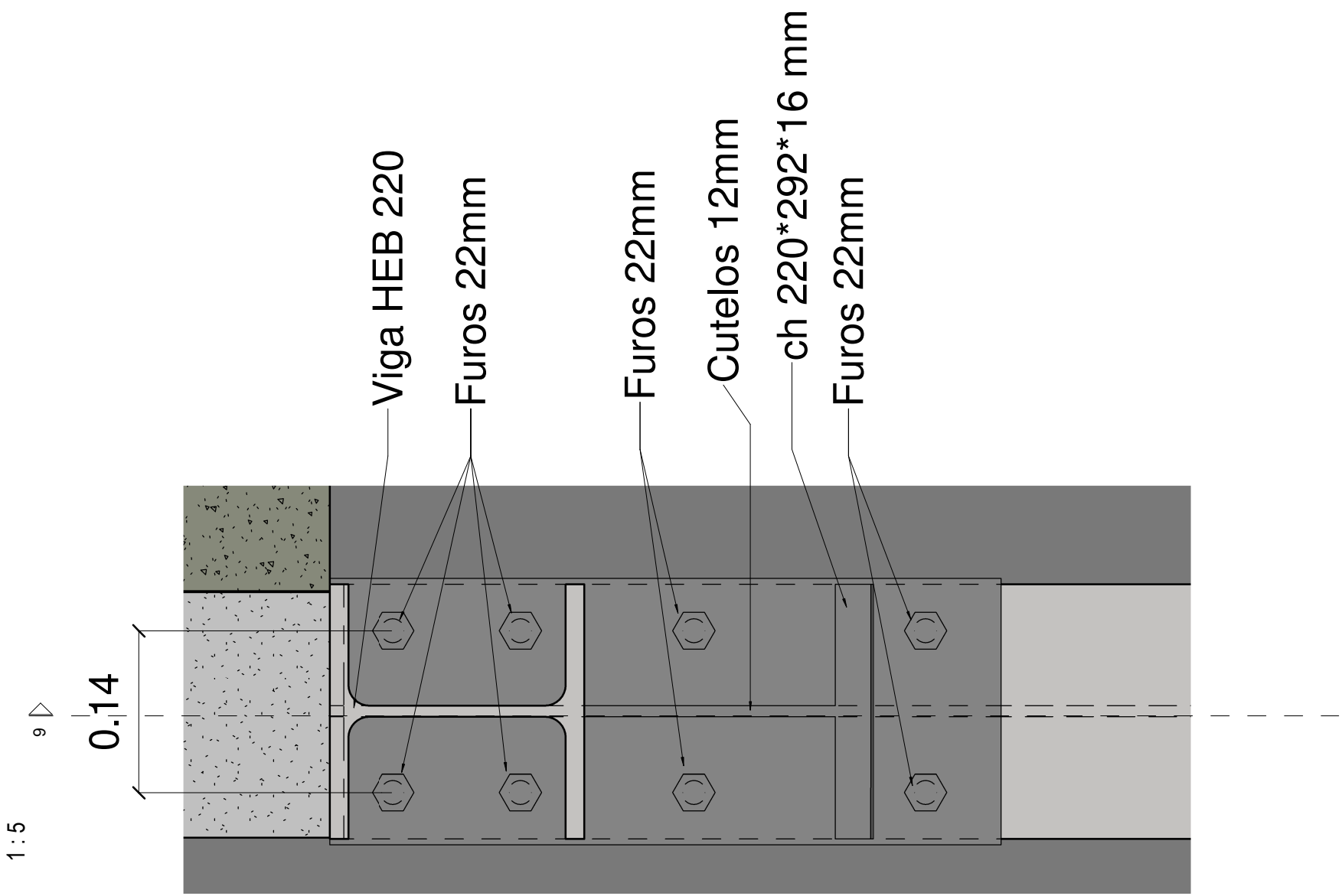
Tecto res/c



PMe06



PMe06 Corte





## **ANEXO VI – MANUAIS DE UTILIZAÇÃO DAS ROTINAS DESENVOLVIDAS**





## 1. Excel para revit com verificação (por piso)

### Inputs

O utilizador somente precisa de escolher o piso pretendido (normalmente igual ao utilizado na rotina “Revit to excel (por piso)”).

### Output

A rotina preenche, no REVIT, os parâmetros “Espaçamento”, “Nova base (b da viga)” e “Nova altura (d da viga). Além disso, a rotina escreve no parâmetro “Comments” se a altura, a base e o espaçamento de cada sistema de viga deve ser alterado ou não.

### Como utilizar a rotina:

1. Com o projecto aberto no REVIT, o utilizador acede á rotina do DYNAMO clicando na guia “Manage” > painel “Visual Programming” > “Dynamo”;
2. O utilizador abre o ficheiro com o nome “Excel to Revit com verificação (por piso)” na pasta guardada;
3. Em concordância com a rotina “Revit to excel (por piso)”, o utilizador preenche o nó destacado a azul com o número que corresponde ao piso a ser analisado;
4. Na parte inferior esquerda da janela do DYNAMO o utilizador clica em “Run” para correr a rotina e escrever os valores do piso pretendido no Excel.

### Trabalhos prévios:

O principal requisito para utilizar esta rotina do DYNAMO é ter os pavimentos de madeira modelados através de sistemas de vigas – “Structural Beam Systems” (possivelmente por tramos).

A rotina está preparada para obter os valores do parâmetro “Fixed Spacing”, por isso os sistemas devem ser modelados através da distância fixa entre as vigas em vez do número fixo das vigas.

Selecionando o sistema de viga, na barra de propriedades os parâmetros do grupo **Dimensions** devem ser preenchidos manualmente. (Estes parâmetros foram criados anteriormente no “Template Ncrep AP” e estão associados á categoria de sistemas de vigas estruturais. Ou seja, qualquer sistema de vigas criado a partir do “Template Ncrep AP” terão esses parâmetros disponíveis a ser preenchidos na barra de propriedades);



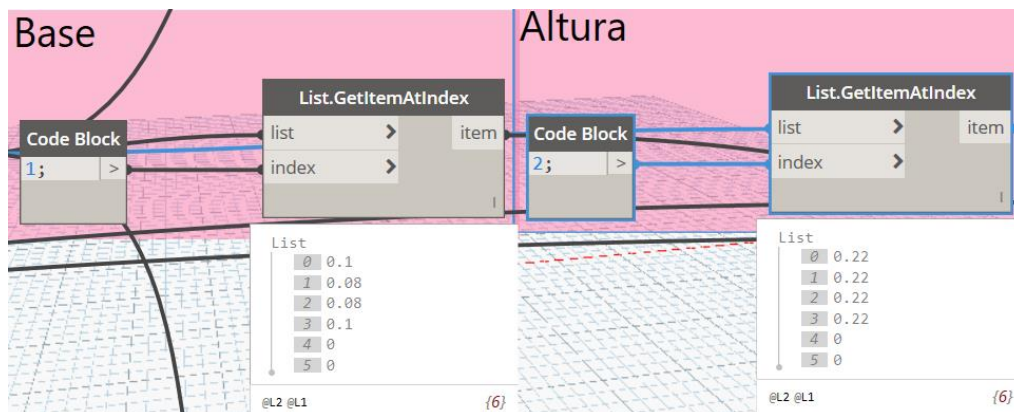
Pattern	
Layout Rule	Fixed Distance
Fixed Spacing	0.5270
Centerline Spacing	0.5270
Justification	Center
Beam Type	M_LVL-Laminat...
Dimensions	
L medio	3.4000
Largura pavim...	4.0000
Sobrecarga	2.000000
Revestimentos	0.3
Esp. Soalho	0.03
Tarrugos	1.000000

A rotina “Revit to excel (por piso)” deve ser utilizada e os pavimentos dimensionados no excel antes de utilizar a presente rotina.

## Metodologia da rotina

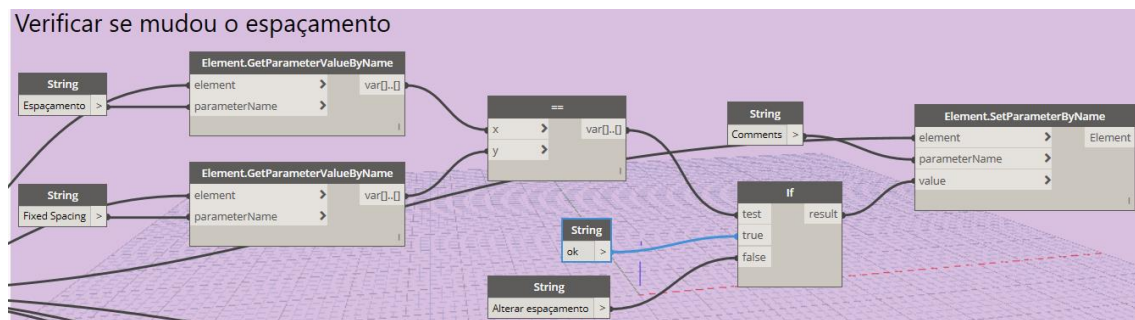
O primeiro passo da rotina consiste em ler os dados contidos na folha “Outputs Revit” do Excel através do nó “Excel.ReadFromFile”. Para fazer o caminho inverso da rotina “Revit to excel (por piso)” são utilizados os nós “List.RemoveItemAtIndex” e o “List.Transpose”.

O passo seguinte é separar a lista obtida por parâmetros, ou seja, obter várias listas em que cada uma corresponde aos valores de um determinado parâmetro dos vários sistemas de vigas de um piso.



Tendo os dados dos parâmetros divididos por grupos, o passo seguinte é escrevê-los no Revit associando cada parâmetro a um sistema de vigas.

Após preencher os parâmetros “Espaçamento”, “Nova base (b da viga)” e “Nova altura (d da viga)”, a rotina DYNAMO verifica se estes novos parâmetros estão em concordância com os parâmetros iniciais do sistema de vigas (antes de utilizar a rotina “Revit to excel (por piso)” ). No caso desses parâmetros coincidirem o parâmetro “Comments” é preenchido com o texto “OK!”, e no caso de não coincidirem é preenchido com o texto “Alterar Espaçamento” (por exemplo).



## Notas:

1. Sempre que mudar a localização dos ficheiros deve-se actualizar na rotina, especificamente no nó “FilePath”.
2. Devido ao facto de as células estarem programadas para irem buscar os valores na folha “Inputs Revit”, a rotina tem instruções para usar sempre esta mesma folha do Excel em vez de criar uma folha nova. Sendo assim, o utilizador deve limpar as células desta folha sempre que utilizar a rotina (o cabeçalho pode ficar)

## 2. Revit para Excel (por piso)

### Inputs

O utilizador somente precisa de escolher o piso pretendido, através do número associado. Primeiramente é necessário “correr” a rotina do DYNAMO uma vez, para saber os pisos de madeira existentes no projeto e os respectivos índices associados.

### Output

A rotina escreve numa folha do Excel os valores dos parâmetros de cada tramo de um pavimento de madeira de um determinado piso. Estes valores servirão de base para o dimensionamento destes tramos de pavimentos.

### Como utilizar a rotina:

1. Com o projecto aberto no REVIT, o utilizador acede á rotina do DYNAMO clicando na guia “Manage” > painel “Visual Programming” > “Dynamo”;
2. O utilizador abre o ficheiro com o nome “Revit to Excel (por piso)” na pasta guardada;
3. É necessário correr a rotina uma vez para saber os pisos de madeira existentes no projeto e os respectivos números associados (primeiro grupo de nós preenchido com cor rosa).
4. Estabelecido a relação entre os pisos e os números a utilizar, o utilizador preenche o nó destacado a azul com o número que corresponde ao piso a dimensionar;
5. Na parte inferior esquerda da janela do DYNAMO o utilizador clica em “Run” para executar a rotina e escrever os valores do piso pretendido no Excel.

### Trabalhos prévios:

O principal requisito para utilizar esta rotina do DYNAMO é ter os pavimentos de madeira modelados através de sistemas de vigas – “Structural Beam Systems” (possivelmente por tramos).

A rotina está preparada para obter os valores do parâmetro “Fixed Spacing”, por isso os sistemas devem ser modelados através da distância fixa entre as vigas em vez do número fixo das vigas.

Selecionando o sistema de viga, na barra de propriedades os parâmetros do grupo **Dimensions** devem ser preenchidos manualmente. (Estes parâmetros foram criados anteriormente no “Template Ncrep AP” e estão associados á categoria de sistemas de vigas estruturais. Ou seja, qualquer sistema de vigas criado a partir do “Template Ncrep AP” terão esses parâmetros disponíveis a ser preenchidos na barra de propriedades);

Pattern	
Layout Rule	Fixed Distance
Fixed Spacing	0.5270
Centerline Spacing	0.5270
Justification	Center
Beam Type	M_LVL-Laminat...
Dimensions	
L medio	3.4000
Largura pavim...	4.0000
Sobrecarga	2.000000
Revestimentos	0.3
Esp. Soalho	0.03
Tarrugos	1.000000

## Metodologia da rotina

O primeiro passo da rotina consiste em selecionar, de forma automática, todos os sistemas de vigas do projecto através do nó “All Elements of Category”.

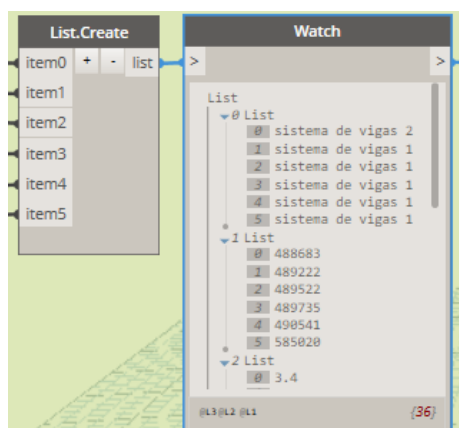
O passo seguinte é agrupar todos estes sistemas de vigas pelos pisos que pertencem, usando o nó “GroupByFunction”. Este nó devolve o nome de todos os sistemas de vigas do projecto agrupados por pisos com um índice que começa em zero (0, 1, 2...n).

Para saber a relação entre este índice e os números dos pisos utilizou-se o nó “Element.GetParameterByName” (Parâmetro “Work Plane”). Este nó está posicionado no início da rotina e destacado com cor rosa.

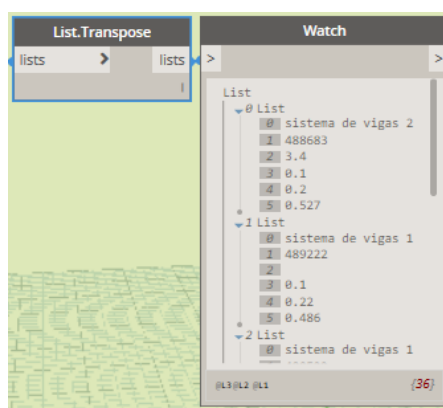
De seguida, é feito o levantamento dos parâmetros de todos os sistemas de vigas do projecto (de forma análoga à rotina “Verificação de segurança pavimentos de madeira”).

Para facilitar o dimensionamento, os valores dos parâmetros são transferidos para o Excel piso por piso. Então cada lista (com os valores dos parâmetros de todas os sistemas de vigas) passará a ser uma lista só referente aos sistemas de um determinado piso. Isto é obtido através do nó “List.GetItemAtIndex”.

Obtidos os valores dos parâmetros por piso, cria-se uma lista com todos esses valores de parâmetros. A lista fica agrupada pelos parâmetros, ou seja, cada grupo terá os diferentes valores para cada sistema de vigas.



De forma a ser escrita no Excel da melhor maneira, esta lista é transposta através do nó “List.Transpose” que passará a agrupar os parâmetros por cada sistema de vigas.



Por fim, estes valores são escritos no Excel, da forma descrita para a rotina “Verificação de segurança pavimentos de madeira” através do nó “Excel.ReadFromFile”.

**Notas:**

1. Sempre que mudar a localização dos ficheiros deve-se actualizar na rotina, especificamente no nó “FilePath”.
2. Devido ao facto de as células estarem programadas para irem buscar os valores na folha “Inputs Revit”, a rotina tem instruções para usar sempre esta mesma folha do Excel em vez de criar uma folha nova. Sendo assim, o utilizador deve limpar as células desta folha sempre que utilizar a rotina (o cabeçalho pode ficar).



### 3. Verificação de segurança de Pavimentos de madeira

#### Inputs

O utilizador somente precisa de seleccionar o sistema de vigas pretendido.

#### Output

A rotina preenche, para o sistema seleccionado, o parâmetro **Verificação** do grupo **Identity Data** (parâmetro este criado anteriormente pelo criador da rotina da mesma forma que os restantes parâmetros do grupo **Dimensions**). Este parâmetro é preenchido com o texto “OK!” no caso de se verificar a segurança ou “Não verifica!”, caso contrário. A verificação de segurança é feita através da folha de Excel de dimensionamento de pavimentos de madeira.

#### Como utilizar a rotina:

1. Com o projecto aberto no REVIT, o utilizador acede á rotina do DYNAMO clicando na guia “Manage” > painel “Visual Programming” > “Dynamo”;
2. O utilizador abre o ficheiro com o nome “Verificação de segurança pavimentos de madeira” na pasta guardada;
3. No 1º nó do algoritmo aberto no DYNAMO, o utilizador clica em “select” e logo em seguida selecciona o sistema de vigas estruturais pretendido (é recomendável ter a janela do DYNAMO aberto em paralelo com a janela da planta estrutural do REVIT para poder seleccionar o sistema);
4. Na parte inferior esquerda da janela do DYNAMO o utilizador clica em “Run” para executar a rotina.

#### “Trabalhos” prévios:

- O principal requisito para utilizar esta rotina do DYNAMO é ter os pavimentos de madeira modelados através de sistemas de vigas – “Structural Beam Systems” (possivelmente por tramos).
- A rotina está preparada para obter os valores do parâmetro “Fixed Spacing”, por isso os sistemas devem ser modelados através da distância fixa entre as vigas em vez do número fixo das vigas.
- Seleccionando o sistema de viga no REVIT, na barra de propriedades os parâmetros do grupo **Dimensions** devem ser preenchidos manualmente. (Estes parâmetros foram criados anteriormente no “Template Ncrep AP” e estão associados á categoria de sistemas de vigas estruturais. Ou seja, qualquer sistema de vigas criado a partir do “Template Ncrep AP” terão esses parâmetros disponíveis a ser preenchidos na barra de propriedades);

Pattern	
Layout Rule	Fixed Distance
Fixed Spacing	0.5270
Centerline Spacing	0.5270
Justification	Center
Beam Type	M_LVL-Laminat...
Dimensions	
L medio	3.4000
Largura pavim...	4.0000
Sobrecarga	2.000000
Revestimentos	0.3
Esp. Soalho	0.03
Tarrugos	1.000000

## Metodologia da rotina

Com o sistema de vigas seleccionado da forma descrita anteriormente no passo 3, a rotina do DYNAMO vai recolher os valores dos parâmetros deste sistema através do nó “Element.GetParameterValueByName”.

O passo seguinte é criar duas listas no DYNAMO, uma com os nomes dos parâmetros e outra com os valores recolhidos (Nomeadamente: Nome do sistema, ID, Vão, Base, Altura, Espaçamento, Sobrecarga, Revestimentos, Espessura do soalho, Largura do pavimento e alinhamento de tarugos).

As duas listas são inseridas numa folha de Excel através do nó “Excel.WriteToFile”, onde é realizada verificação de segurança. Um dos inputs deste nó é a localização do ficheiro de Excel onde se deseja criar uma folha automaticamente. Outro input é nome da folha a ser criada (neste caso “Inputs Revit”).



As células de preenchimento da folha “Pavimentos, ELU\_ELS”, que são necessários para o dimensionamento, estão programadas para importar valores da folha “Inputs Revit”.

O objectivo desta rotina é verificar a segurança de um pavimento de madeira. Sendo assim, foi programado uma célula na folha “Outputs Revit” com várias fórmulas “SE” encadeadas, onde devolve o valor “OK!” caso todos os critérios do E.L. Último e de Utilização forem satisfeitos; e o valor “Não Verifica” no caso de pelo menos um dos critérios não for satisfeito.

A rotina DYNAMO vai buscar o resultado desta célula através do nó “Excel.ReadFromFile”, e preenche, no REVIT, o parâmetro **Verificação** do sistema de vigas usando o nó “Element.SetParameterByName”.

### Notas:

1. Sempre que mudar a localização dos ficheiros deve-se actualizar na rotina, especificamente no nó “FilePath”.
2. Devido ao facto de as células estarem programadas para irem buscar os valores na folha “Inputs Revit”, a rotina tem instruções para usar sempre esta mesma folha do Excel em vez de criar uma folha nova. Sendo assim, o utilizador deve limpar as células desta folha sempre que utilizar a rotina.